



**TUGAS AKHIR – MO.141326**

**ANALISA KEKUATAN MEMANJANG AKIBAT BEBAN  
GELOMBANG DAN *SLAMMING* PADA KAPAL SURVEI  
SEISMIK GEOMARIN IV**

**FEBRY NUR INTAN**

**NRP. 4313100151**

**Dosen Pembimbing :**

**Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D**

**Ir. Mas Murtedjo M. Eng**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 60111**

**2017**



**FINAL PROJECT – MO.141326**

**ANALYSIS OF LONGITUDINAL STRENGTH DUE TO  
WAVE AND SLAMMING LOADS ON SEISMIC SURVEY  
VESSEL GEOMARIN IV**

**FEBRY NUR INTAN**

**NRP. 4313100151**

**Supervisors :**

**Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D**

**Ir. Mas Murtedjo M. Eng**

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING**

**Marine Technology Faculty**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 60111**

**2017**

**Analisa Kekuatan Memanjang Akibat Beban Gelombang dan *Slamming* pada Kapal Survei Seismik Geomarin IV**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:  
**Febry Nur Intan**  
**NRP. 4313 100 151**

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. (Pembimbing 2)

3. Dr. Eng Rudi Walujo Prastanto, S.T., M.T. (Penguji)

4. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji)

5. Murdjito M.Sc., Eng (Penguji)

Surabaya, Juli 2017

## **ANALISA KEKUATAN MEMANJANG AKIBAT BEBAN GELOMBANG DAN *SLAMMING* PADA KAPAL SURVEI SEIMIK *GEOMARIN IV***

Nama Mahasiswa : Febry Nur Intan  
NRP : 4313100151  
Departemen : Teknik Kelautan  
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph. D.  
Ir. Mas Murtedjo M. Eng

### **ABSTRAK**

Kapal sebagai struktur terapung pada saat beroperasi pastinya akan mengalami pergerakan yang disebabkan oleh beban hidrodinamis yaitu gelombang. Beban gelombang ini akan berinteraksi dengan berat struktur terapung dan akan menimbulkan efek gaya geser serta momen lengkung. Dan pada kondisi lingkungan yang tidak menentu akan terjadi *Slamming* yang dapat mengganggu kestabilan dan menyebabkan kerusakan pada suatu struktur dalam kondisi yang ekstrem. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan analisa respon struktur memanjang akibat pengaruh dari beban gelombang dan *slamming* pada Kapal Survei Seismik Geomarin IV. Analisa dilakukan dengan menggunakan *software* MOSES untuk mendapatkan data RAO *heave* dan *pitch* dari kapal yang telah dimodelkan. Setelah itu dilakukan perhitungan beban *slamming* yang akan dikombinasikan dengan beban gelombang untuk mendapatkan nilai *shear force* dan *bending moment* pada setiap frekuensi gelombang dengan metode quasi-statis. Dari analisis didapatkan nilai beban *slamming* untuk Kapal Survei Seismik Geomarin IV sebesar 148.57 Ton yang setelah dikombinasikan dengan beban gelombang mendapatkan nilai maksimum pada frekuensi 0.8 rad/s dengan nilai *shear force* sebesar 201.534 MN dan *bending moment* sebesar 9841.48 MN.m.

Kata kunci— Kapal Survei Seismik, Beban Gelombang, *Slamming*, *Shear Force*, *Bending Moment*

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF LONGITUDINAL STRENGTH DUE TO WAVE AND SLAMMING LOADS ON SEISMIC SURVEY VESSEL GEOMARIN IV

*Name of Student* : Febry Nur Intan  
*REG* : 4313100151  
*Department* : *Department of Ocean Engineering, Marine Technology  
Faculty, ITS*  
*Supervisors* : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc, Ph.D  
Ir. Mas Murtedjo M. Eng

The vessel as a floating structure at the time of operation certainly will experience movement caused by the hydrodynamic loads i.e. the wave. The wave load will interact with the weight of a floating structure and would cause the shear force and bending moment effects. And at the uncertain environmental conditions, Slamming will occur that can affect the stability and causing damage to a structure in the extreme conditions. On this final project will be done the analysis of longitudinal structure response due to the influence of the wave and slamming loads on Seismic Survey Vessel Geomarin IV. The analysis was done using MOSES software to get the RAO data of heave and pitch of the vessel that has been modelled. Then, do the calculation on slamming that will be combined with the wave load to get the value of the shear force and bending moment on every frequency wave with quasi-static method. From the analysis, the values obtained for the slamming of Seismic Survey Vessel Geomarin IV is 148.57 Tons which after combined will get maximum value on the frequency of 0.8 rad/s with the value of the shear force of 201,534 and bending moment of MN 9841.48 MN. m.

Keywords — Seismic Survey Vessel, Wave Load, Slamming, Shear Force, Bending Moment

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis sampaikan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar.

Tugas Akhir ini berjudul “**ANALISA KEKUATAN MEMANJANG AKIBAT BEBAN GELOMBANG DAN SLAMMING PADA KAPAL SURVEI SEISMIK *GEOMARIN IV***”. Tugas akhir ini disusun sebagai sarana implementasi ilmu yang telah penulis dapat selama empat tahun menuntut ilmu di Jurusan Teknik Kelautan. Serta memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas tentang analisis kekuatan struktur memanjang pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* terhadap pengaruh beban gelombang dan *slamming*.

Saya menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga saya sangat mengharapkan kritik dan saran dari pihak lain. Akhir kata saya berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan serta bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam pengerjaan Tugas Akhir hingga selesainya Tugas Akhir ini . Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan segala nikmat-Nya kepada penulis.
2. Orang Tua dan keluarga besar yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, perhatian, kepercayaan, dan dukungannya kepada penulis.
3. Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc, Ph.D selaku dosen wali sekaligus dosen pembimbing I dan Bapak Ir. Murtedjo M.Eng selaku dosen pembimbing II dalam Tugas Akhir yang selalu mendampingi dan memberikan bimbingan dalam proses pengerjaan proposal hingga analisis Tugas Akhir ini. Terima kasih atas bimbingan, ilmu, serta dukungannya.
4. Tsany Naufal Hidayat, Imran Ahmad, Irza Yanuar, Dimas Maulana Rachman, dan Bayu Pranata Sudhira yang sudah membantu penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Indri, Jousie, Kalila, Patria Rahmadhani sebagai teman terdekat penulis yang selalu ada untuk menghibur.
6. Fikri Rifki Giffari yang selalu ada memberikan dukungan, semangat, dan bantuan kepada penulis.
7. Teman-teman Teknik Kelautan FTK-ITS angkatan 2013 Valtameri yang selalu menemani selama 4 tahun masa kuliah.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada saya selama menjalani perkuliahan.

Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa saya sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas bantuan, motivasi dan doanya sehingga saya mampu maju hingga sejauh ini dan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua. Aamiin.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	3
1.3    Tujuan.....	4
1.4    Manfaat.....	4
1.5    Batasan Masalah.....	4
1.6    Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSATAKA DAN DASAR TEORI .....	7
2.1    Tinjauan Pustaka .....	7
2.2    Dasar Teori .....	7
2.2.1    Kapal Survei Seismik.....	7
2.2.2    Teori Gerakan Bangunan Apung .....	8
2.2.3    Response Amplitude Operators (RAO) .....	22
2.2.4    Respon Spektra .....	25
2.2.5    Teori Slamming.....	26
2.2.6    Kekuatan Memanjang Ditambah Beban Slamming.....	30
2.2.7    Gaya Geser ( <i>Shear Force</i> ) dan Momen Lengkung ( <i>Bending Moment</i> ) akibat Beban Gelombang.....	32



2.2.8	Perhitungan Respons Struktur dengan Metode Quasi-Statis .....	34
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		35
3.1	Diagram Alir.....	35
3.2	Prosedur Penelitian .....	37
3.3	Pengumpulan Data .....	39
3.3.1	Data Kapal Survei Seismik Geomarin IV .....	39
3.3.2	Data Lingkungan Laut Masela .....	40
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....		41
4.1	Pemodelan Struktur Kapal Survei Seismik Geomarin IV .....	41
4.1.1	Pemodelan pada Software Maxsurf .....	41
4.1.2	Pemodelan pada Software MOSES.....	41
4.2	Hidrostatik .....	42
4.3	Analisa Gerakan Kapal Survei Seismik Geomarin IV .....	43
4.3.1	Perhitungan Titik Berat .....	43
4.3.2	RAO Kapal Survei Seismik Geomarin IV .....	44
4.4	Distribusi Beban .....	45
4.5	Gerakan Relatif Vertikal Haluan .....	47
4.6	Simulasi Gerakan Kapal pada Gelombang Reguler .....	49
4.7	Respon Spektra.....	50
4.8	Perhitungan Slamming .....	52
4.8.1	Peluang Intensitas dan Tekanan Slamming.....	52
4.8.2	Beban Tambahan Slamming .....	53
4.9	Analisa Gaya Geser dan Momen Lengkung ( <i>Shear Force &amp; Bending Moment</i> ) pada Kondisi <i>Even Keel</i> di Gelombang Reguler .....	54
4.10	Perhitungan <i>Section Modulus</i> .....	57
4.11	Analisa Gaya Geser dan Momen Lengkung ( <i>Shear Force &amp; Bending Moment</i> ) dengan Metode Quasi Statis akibat Gerak <i>Heave</i> dan <i>Pitch</i> .....	59

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	65
5.1    Kesimpulan.....	65
5.2    Saran .....	65
DAFTAR PUSTAKA .....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kapal Survei Seismik Geomarin III .....	2
Gambar 2.1 Ilustrasi Survei Seismik yang dilakukan oleh Kapal Survei Seismik (sumber: <a href="http://www.coastalreview.org">http://www.coastalreview.org</a> ).....	8
Gambar 2.2 Enam derajat kebebasan (6 mode gerakan bebas).....	9
Gambar 2.3 Ilustrasi gerakan <i>heave</i> .....	10
Gambar 2.4 Ilustrasi Gerakan <i>Pitch</i> .....	13
Gambar 2.5 Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung (Djarmiko, 2012) .....	24
Gambar 2.6 Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respons .....	26
Gambar 2.7 Ilustrasi kondisi Hogging .....	30
Gambar 2.8 Ilustrasi kondisi Sagging .....	31
Gambar 2.9 Defleksi akibat beban gelombang dan <i>slamming</i> .....	32
Gambar 2.10 Faktor distribusi untuk $F_1$ (ABS, 2014).....	33
Gambar 2.11 Faktor distribusi untuk $F_2$ (ABS, 2014).....	34
Gambar 3.1 Diagram Alir .....	36
Gambar 3.2 General Arrangement Kapal Survei Seismik Geomarin IV (Sumber: PT. Citra Mas, 2017).....	40
Gambar 4.1 Pemodelan kapal dengan Maxsurf Modeler.....	41
Gambar 4.2 Pemodelan kapal dengan MOSES.....	42
Gambar 4.3 Grafik RAO gerakan <i>heave</i> kondisi pembebanan <i>full load</i> .....	44
Gambar 4.4 Grafik RAO gerakan <i>pitch</i> kondisi pembebanan <i>full load</i> .....	45
Gambar 4.5 Grafik distribusi beban kapal .....	47
Gambar 4.6 Area prediksi terjadinya <i>slamming</i> .....	48
Gambar 4.7 Grafik RAO gerak relatif vertikal haluan.....	49
Gambar 4.8 Grafik elevasi gerakan vertikal relatif haluan .....	50
Gambar 4.9 Spektrum gelombang JONSWAP .....	51
Gambar 4.10 Respon spektra kondisi pembebanan <i>full load</i> .....	52
Gambar 4.11 Kurva bonjean kapal survei seismik Geomarin IV .....	54
Gambar 4.12 Grafik <i>shear force</i> pada gelombang reguler kondisi air tenang, <i>hogging</i> , dan <i>sagging</i> sebelum ditambah beban <i>slamming</i> .....	55

Gambar 4.13 Grafik <i>shear force</i> pada gelombang reguler kondisi air tenang, <i>hogging</i> , dan <i>sagging</i> setelah ditambah beban <i>slamming</i> .....	55
Gambar 4.14 Grafik <i>bending moment</i> pada gelombang reguler kondisi air tenang, <i>hogging</i> , dan <i>sagging</i> sebelum ditambah beban <i>slamming</i> .....	56
Gambar 4.15 Grafik <i>bending moment</i> pada gelombang reguler kondisi air tenang, <i>hogging</i> , dan <i>sagging</i> setelah ditambah beban <i>slamming</i> .....	57
Gambar 4.16 Hubungan variasi periode dengan nilai persamaan gelombang, <i>heave</i> , dan <i>pitch</i> .....	60
Gambar 4.17 Pergerakan kapal dalam satu siklus akibat pengaruh <i>heave</i> dan <i>pitch</i> pada frekuensi 0.8 rad/s.....	61
Gambar 4.18 Grafik <i>shear force</i> quasi-statis frekuensi 0.8rad/s.....	62
Gambar 4.19 Grafik <i>bending moment</i> quasi-statis frekuensi 0.8 rad/s .....	62
Gambar 4.20 Grafik RAO <i>Shear Force</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Full Load</i> .....	63
Gambar 4.21 Grafik RAO <i>Shear Force</i> Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> pada Kondisi <i>Full Load</i> .....	64

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Principal Dimension Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> .....	39
Tabel 3.2 Data lingkungan Laut Masela dengan <i>return period</i> 10 tahun .....	40
Tabel 4.1 Koreksi hidrostatik data dengan model Maxsurf kondisi <i>full load</i> .....	43
Tabel 4.2 Titik berat kondisi <i>full load</i> .....	44
Tabel 4.3 Komponen Berat LWT.....	46
Tabel 4.4 Komponen Berat DWT .....	46
Tabel 4.5 Hasil perhitungan <i>slamming</i> kondisi <i>full load</i> .....	53
Tabel 4.6 Perhitungan <i>Allowable Stress</i> .....	58
Tabel 4.7 Pengecekan <i>stress</i> pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> Kondisi .	58
Tabel 4.8 Pengecekan modulus pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> .....	59
Tabel 4.9 Pengecekan Inersia pada Kapal Survei Seismik <i>Geomarin IV</i> .....	59
Tabel 4.10 Perhitungan pola gerakan frekuensi 0.8 rad/s satu siklus gerakan.....	60

## **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN A. Distribusi Beban

LAMPIRAN B. Perhitungan Gerak Relatif Vertikal Haluan dan Spektra Respon

LAMPIRAN C. Perhitungan Elevasi

LAMPIRAN D. Perhitungan Shear Force dan Bending Moment

LAMPIRAN E. Analisa Quasi-Statik Kondisi Full-Load

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan salah satu negara maritime terbesar di dunia karena memiliki laut yang luas juga jumlah pulau yang sangat banyak. Hal tersebut juga membuat Indonesia menjadi salah satu negara dengan potensi energi dan sumber daya alam yang sangat melimpah, termasuk didalamnya adalah minyak dan gas bumi, mineral, dan energi baru terbarukan. Pemanfaatan energi khususnya dalam hal ini energi maritime belum dilakukan secara maksimal, maka dari itu perlu perhatian khusus untuk mendukung pembangunan di bidang maritime yaitu melakukan peningkatan produksi minyak dan gas bumi yang besar dengan melakukan penelitian, eksplorasi, implementasi teknologi, dan pembangunan infrastruktur energi untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Pada tahapan eksplorasi ini metode - metode khusus digunakan untuk mendapatkan data yang lebih akurat guna memastikan keberadaan minyak dan gas bumi dan kemungkinannya untuk dapat di eksploitasi lebih jauh. Salah satu metode yang digunakan dalam eksplorasi di daerah laut adalah dengan survei seismik. Survei seismik merupakan metode yang menggunakan bantuan dari pantulan gelombang yang akan direkam pada setiap kedalaman tertentu untuk mengetahui keberadaan minyak dan gas bumi di suatu wilayah, dan untuk melakukan proses survei seismik pada daerah laut khususnya perairan dalam maka dibutuhkan kapal survei seismik untuk menunjang operasi tersebut.

Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melalui instansi Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) sebelumnya telah membuat kapal penelitian dan survei seismik dengan nama Geomarin III pada tahun 2008 yang ditujukan untuk mengumpulkan data seismik dan mencari lokasi yang potensial untuk mengembangkan sumber energi di laut Indonesia. Namun pada tahun 2016 kementrian ESDM melalui P3GL kembali akan membuat kapal survei seismik dengan nama Geomarin IV yang mempunyai spesifikasi lebih baik dari Geomarin III. Bisa dilihat dari ukuran kapal dan kapasitas mesin yang lebih besar, juga fasilitas kabel streamer yang lebih panjang yaitu  $\pm 10.000$  meter yang

bisa mendukung kinerja Geomarin IV dalam melakukan survei seismik untuk menemukan potensi energi di perairan Indonesia.



**Gambar 1.1** Kapal Survei Seismik Geomarin III  
(<http://www.mgi.esdm.go.id>)

Kapal survei seismik Geomarin IV sebagai struktur terapung pastinya akan mengalami pergerakan yang disebabkan oleh beban hidrodinamis. Beban hidrodinamis itu sendiri adalah beban yang disebabkan oleh adanya gelombang, arus, dan pasang surut air laut. Pada saat beroperasi kapal akan dihadapkan pada kondisi lingkungan yang tidak menentu yang menyebabkan terjadinya *Slamming*. *Slamming* ini dapat mengganggu kestabilan suatu struktur dan dalam kondisi yang ekstrem, dapat menyebabkan kerusakan pada suatu struktur.

*Slamming* merupakan peristiwa yang terjadi akibat gerakan vertikal kapal dan dalam kondisi gerakan yang ekstrim dapat menyebabkan haluan kapal keluar dari permukaan air dan akan terjadi proses *slamming* pada saat haluan kapal kembali jatuh ke permukaan air (Darmawan, 2012) . Kecepatan jatuhnya haluan kapal ke permukaan gelombang yang relatif besar dapat menyebabkan kerusakan struktur kapal. Kondisi di atas sangat berpengaruh pada keselamatan operasi dan kekuatan struktur kapal. Beban *impact* pada kondisi *slamming* terjadi saat



tumbukan gelombang pada haluan (*bow slamming*) atau pada dasar kapal (*bottom slamming*). *Slamming* dapat menyebabkan dua efek pada kapal yaitu terjadinya tekanan yang besar pada pelat alas kapal dan menyebabkan tegangan pada struktur utama kapal sehingga akan terjadi getaran yang disebut *whipping* (Bhattacharyya, 1978). *Whipping* pada struktur kapal dapat menyebabkan *vertical bending moment* pada bagian midship.

Tekanan akibat *slamming* dapat berpengaruh terhadap terjadinya *hogging* dan *sagging* pada kapal sehingga dapat mempengaruhi kekuatan memanjang pada kapal. Berdasarkan hal tersebut tekanan akibat *slamming* dapat dijadikan parameter tambahan dalam analisis kekuatan memanjang kapal khususnya pada kapal survei seismik *Geomarin IV* ini.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan analisa respon gerakan dari *Geomarin IV* yang bertujuan untuk mengetahui apakah kekuatan dari desain kapal *Geomarin IV* ini bisa menahan tekanan yang dihasilkan dari *slamming* yang terjadi pada saat beroperasi. Analisa meliputi perhitungan *shear force* dan *bending moment* pada tiap frekuensi gelombang perlu dilakukan untuk mengetahui nilai maksimum *shear force* dan *bending moment* pada tiap station. Nantinya, nilai maksimum ini akan menjadi RAO untuk *shear force* dan *bending moment* untuk selanjutnya dilakukan analisa nilai ekstrem *shear force* dan *bending moment* pada tiap station.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini antara lain:

1. Bagaimana karakteristik RAO gerakan kopel *heave pitch* kapal survei seismik *Geomarin IV* pada gelombang reguler?
2. Bagaimana pengaruh gerakan kopel *heave pitch* kapal survei seismik *Geomarin IV* terhadap tekanan *slamming*?
3. Bagaimana karakteristik RAO respon struktur memanjang (*shear force* dan *bending moment*) akibat gelombang dan *slamming* untuk mengetahui kekuatan memanjang pada kapal survei seismik *Geomarin IV*?

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini antara lain:

1. Menghitung karakteristik RAO gerakan kopel *heave pitch* kapal survei seismik Geomarin IV pada gelombang reguler.
2. Menghitung pengaruh gerakan kopel *heave pitch* kapal survei seismik Geomarin IV terhadap tekanan *slamming*.
3. Menghitung karakteristik RAO respon struktur memanjang (*shear force* dan *bending moment*) akibat gelombang dan *slamming* untuk mengetahui kekuatan memanjang pada kapal survei seismik Geomarin IV.

### 1.4 Manfaat

Manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk dapat mengetahui *Response Amplitude Operator* (RAO) untuk karakteristik respon struktur memanjang (*shear force* dan *bending moment*) pada kapal survei seismik Geomarin IV akibat beban gelombang dan *slamming*.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam Tugas Akhir ini antara lain:

1. Data yang digunakan adalah kapal survei seismik Geomarin IV.
2. Karakteristik gerakan yang ditinjau adalah gerakan kopel *heave* dan *pitch*.
3. Arah datang gelombang yang ditinjau dari arah  $180^\circ$ .
4. Kondisi yang dianalisis adalah kondisi pembebanan *full load*.
5. Kapal survei seismik Geomarin IV beroperasi pada perairan laut Masela dengan rentang tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) 4-6 meter.
6. Beban arus dan angin diabaikan.
7. Analisa dilakukan pada saat kapal sedang dalam kecepatan maksimum.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika Penulisan Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penulisan tugas akhir permasalahan, yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang dapat diambil serta batasan yang diberlakukan dalam penyusunan tugas akhir.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Bab ini berisi tinjauan pustaka dan dasar teori, yaitu hal-hal yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Persamaan-persamaan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini diuraikan dalam bab ini.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai langkah pengerjaan yang akan dilakukan dalam penelitian.

### **BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan mengenai pembahasan dan analisa dari hasil penelitian dan pengujian.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan yang didapat dari keseluruhan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan. Selanjutnya diberikan saran sebagai bahan pertimbangan tindak lanjut terhadap penelitian dengan permasalahan terkait.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSATAKA DAN DASAR TEORI**

Dalam bab ini akan dipaparkan tinjauan-tinjauan pustaka yang digunakan sebagai referensi dalam pelaksanaan dalam penelitian ini dan dasar teori yang didapat dari literature, jurnal, dan diktat kuliah. Dasar-dasar teori ini yang dijadikan referensi penulis dalam menganalisa permasalahan dalam penelitian ini.

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Pada saat struktur terapung beroperasi, faktor lingkungan terutama beban gelombang akan menimbulkan respon gerak pada kapal tersebut. Lebih dari itu, beban gelombang yang bersifat siklis, meskipun intensitasnya tidak dapat dikatakan ekstrim, akumulasinya jelas akan menyebabkan kerusakan dalam bentuk kelelahan struktur (Djarmiko, 1995).

Studi mendalam tentang aspek gerakan dan kekuatan haluan pada kapal survei seismik Geomarin IV telah dilakukan oleh Ahmad (2016) dengan hasil nilai tegangan maksimum di bagian alas dan geladak haluan masing-masing sebesar 27.57 MPa dan 95.319 MPa dan dinyatakan aman karena hasil tersebut masih lebih kecil jika dibandingkan dengan tegangan izin yang dianjurkan oleh ABS yaitu sebesar 223.25 MPa.

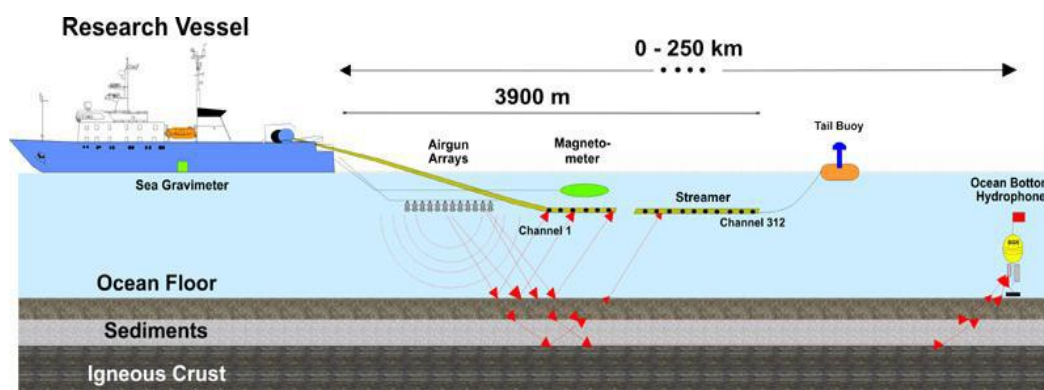
Oleh karena itu, untuk keperluan desain yang lebih lanjut perlu adanya analisis struktur global dari kapal survei seismik Geomarin IV. Pada tugas akhir ini, akan dianalisa struktur global kapal survei seismik Geomarin IV dengan menggunakan pendekatan quasi-statis. Pendekatan ini merupakan peningkatan dari pendekatan metode konvensional untuk gelombang statis dengan memperhitungkan gerakan kopel *heave* dan *pitch* untuk mendapatkan nilai *shear force* dan *longitudinal bending moment* (Ariyanto, 2014).

#### **2.2 Dasar Teori**

##### **2.2.1 Kapal Survei Seismik**

Kapal survei seismik adalah salah satu jenis kapal yang berfungsi untuk melakukan pemetaan struktur di bawah permukaan bumi untuk dapat melihat

kemungkinan adanya jebakan-jebakan hidrokarbon berdasarkan interpretasi dari penampang seismiknya. Kapal survei seismic memiliki beberapa komponen yang berfungsi untuk mendukung proses survei seismic di laut. Komponen tersebut diantaranya ialah *airgun* dan *steamer*. *Airgun* berfungsi sebagai sumber getaran. Getaran yang ditimbulkan *airgun* akan merambat ke segala arah di bawah permukaan sebagai gelombang getar. Gelombang yang datang mengenai lapisan-lapisan batuan dan akan mengalami pemantulan, pembiasan, dan penyerapan seperti pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Ilustrasi Survei Seismik yang dilakukan oleh Kapal Survei Seismik (sumber: <http://www.coastalreview.org>)

Respon batuan terhadap gelombang yang datang akan berbeda-beda tergantung sifat fisik batuan yang meliputi densitas, porositas, umur batuan, kepadatan, dan kedalaman batuan. Gelombang yang dipantulkan akan ditangkap oleh *hydrophone* yang terdapat dalam *steamer*. Gelombang tersebut akan diteruskan ke instrumen untuk direkam. Hasil rekaman akan mendapatkan penampang seismik yang akan dijadikan acuan sebagai pemetaan terhadap potensi kandungan sumber daya alam dan mineral yang terdapat di bawah permukaan bumi.

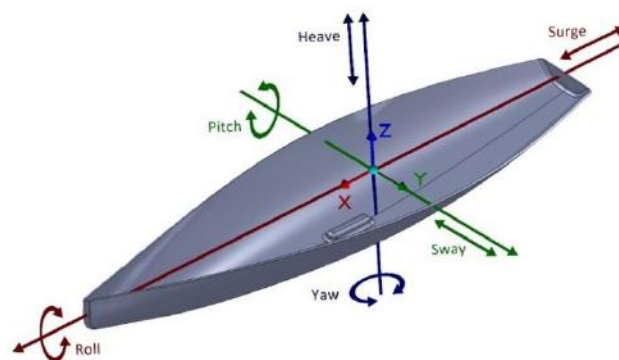
## 2.2.2 Teori Gerakan Bangunan Apung

Gerakan kapal di laut lepas sangat penting untuk diprediksikan karena gerakan kapal dapat menimbulkan masalah. Kapal haruslah terjamin aman dan stabil tidak hanya aman jika berlayar di laut yang kondisi cuacanya relatif tenang, tetapi juga harus menjamin bahwa kapal mengalami penurunan fungsi dari sistem

kerjanya. Secara umum karakteristik dasar dari suatu kapal yaitu stabil, bergerak dengan kecepatan yang cukup, mempunyai olah gerak yang cukup baik di perairan yang dalam ataupun dangkal, dan cukup melakukan tugas ataupun fungsinya dalam cuaca yang buruk dari hantaman gelombang.

Dengan kemajuan yang saat ini telah berkembang pesat di bidang kelautan dan pemakaian teknologi komputer maka dimungkinkan untuk memperkirakan secara statistik beberapa aspek yang berhubungan dengan unjuk kerja kapal di laut lepas. Setiap benda terapung yang bergerak diatas permukaan laut selalu mengalami gerak osilasi. Gerak osilasi terdiri dari 6 mode gerakan bebas, yaitu 3 mode gerak translasional dan 3 mode gerak rotasional.

- Mode gerak translasional
  - Surging, gerakan osilasi translasional arah sumbu x
  - Swaying, gerakan osilasi translasional arah sumbu y
  - Heaving, gerakan osilasi translasional arah sumbu z
- Mode gerak rotasional
  - Rolling, gerakan osilasi rotasional arah sumbu x
  - Pitching, gerakan osilasi rotasional arah sumbu y
  - Yawing, gerakan osilasi rotasional arah sumbu z

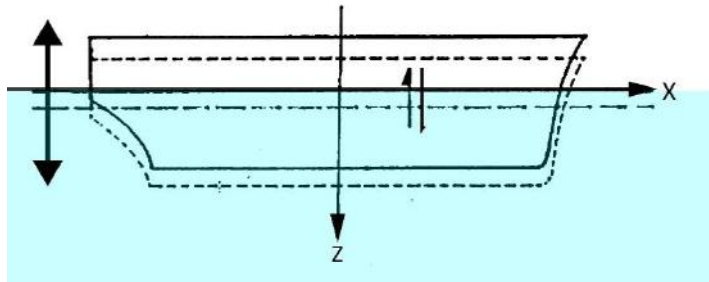


**Gambar 2.2** Enam derajat kebebasan (6 mode gerakan bebas)

Gerakan yang dominan untuk sebuah kapal yang berlayar dalam gelombang adalah *roll*, *heave* dan *pitch*. Karena *roll* berpengaruh terhadap stabilitas kapal, sedangkan *heave* dan *pitch* berkaitan terjadinya slamming pada *forefoot*, permasalahan *deckwetness* pada *forecastle*.

### 2.2.2.1 Gerakan *Heave*

Pada gerakan *heaving* gaya kebawah akibat dari berat kapal membuat kapal tercelup ke air lebih dalam dan kembali ke awal hingga diperoleh kesetimbangan kapal. Ketika gaya *buoyancy* lebih besar akibat kapal tercelup, kapal akan bergerak secara vertical ke atas, ketika posisi kapal telah setimbang lantas tidak berhenti akan tetapi tetap naik dikarenakan ada pangeruh momentum. Selanjutnya kejadiannya akan berulang. Ilustrasi gerakan *heave* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Ilustrasi gerakan *heave*

Kejadian tersebut terjadi berulang-ulang. Maka, dapat dituliskan persamaan umum pada kapal kondisi *heave* adalah:

$$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_0 \cos \omega_e t \quad (2.1)$$

Keterangan :

$a\ddot{z}$  = *Inertial force* (N)

$b\dot{z}$  = *Damping force* (N)

$cz$  = *Restoring force* (N)

$F_{0z}$  = *Amplitude heave exciting force* (N)



Pada persamaan tersebut, terdapat empat elemen utama dalam gerakan *heave*, antara lain:

- *Inertial Force* ( $F_a = a\ddot{z}$ )

*Inertial Force* merupakan percepatan gerakan secara kontinu dari fluida yang memiliki gaya lebih besar dari massa percepatan waktu kapal. (Bhatacarya, 1972)

$$a \frac{d^2 z}{dt^2} = M \frac{d^2 z}{dt^2} + a_z \frac{d^2 z}{dt^2} \quad (2.2)$$

Dengan :

M : massa tambah kapal

$a_z$  : massa tambah akibat gerakan *heave*

- *Damping Force* ( $F_b = b\dot{z}$ )

*Damping Force* akan selalu bergerak berlawanan arah dari gerakan kapal sehingga menyebabkan redaman yang berangsur-angsur pada amplitudo gerakan.

$$F_b = b \frac{dz}{dt} \quad (2.3)$$

Pada persamaan diatas  $b$  merupakan koefisien pada gaya *damping* pada kondisi *heave*. Koefisien redaman tersebut akan bergantung pada faktor-faktor sebagai berikut:

- a. Tipe dari gerakan osilasi
- b. Frekuensi *encountering*
- c. Bentuk struktur terapung

- *Restoring Force* ( $F_c = cz$ )

*Restoring Force* pada gerakan *heave* diberikan sebagai tambahan pada gaya angkat kapal ketika dibawah permukaan air. Oleh karena itu, gaya pengembali diberikan sebagai jumlah *displacement* air, atau berat tamabahn spesifik pada volume tercelup.

$$C_z = \rho g A_{wp} Z = \rho g L B C_{wp} Z \quad (2.4)$$

Dengan :

- $A_{wp}$  : Luas bidang garis air ( $m^2$ )
- $Z$  : Simpangan gerak *heave*
- $C_{wp}$  : Koefisien luad bidang garis air
- $P$  : Massa jenis air laut (  $1.025 \text{ ton}/m^3$ )
- $g$  : Kecepeatan gravitasi (  $m/s^2$ )

- *Exciting Force* ( $F = F_o \cos \omega_e t$ )

*Exciting Force* pada gerak *heave* adalah pengintegrasian dari penambahan gaya angkat dikarenakan gelombang yang melewati sepanjang kapal. Sehingga dapat dituli persamaan sebagai berikut:

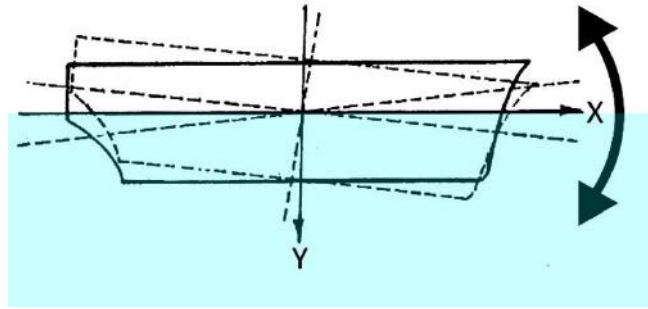
$$F = F_o \cos \omega_e t \quad (2.5)$$

Dimana :

- $F_o$  : Amplitudo gaya eksitasi
- $\omega_e$  : Frekuensi gelombang *encountering* (hz)

#### 2.2.2.2 Gerakan *Pitch*

*Pitch* adalah gerakan osilasi rotasional pada kapal yang bekerja dengan sumbu *y* sebagai pusat gerakanya. Berbeda dengan *heave*, gerakan yang ditimbulkan akibat *pitch* adalah gerak rotational yang menimbulkan momen. Gerak *pitch* juga berpengaruh terhadap kesetimbangan posisi, oleh karena itu momen yang terjadi akibat *pitch* perlu diperhitungkan. Ilustrasi gerakan *pitch* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Ilustrasi Gerakan *Pitch*

Persamaan umum dari persamaan gerakan akibat *pitching* adalah:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_o \cos \omega_e t \quad (2.6)$$

Dimana :

- $M_o$  : Amplitudo momen eksitasi (m)
- $\omega_e$  : Frekuensi gelombang *encountering* (rad/sec)
- $a\ddot{\theta}$  : *Inertial Moment* (N/m)
- $b\dot{\theta}$  : *Damping Moment* (N/m)
- $c\theta$  : *Restoring Moment* (N/m)
- $M_{oy}$  : *Exciting Moment* (N/m)

Pada persamaan tersebut, terdapat empat elemen utama dalam gerakan *heave*, antara lain:

- *Inertial Moment* ( $a \frac{d^2\theta}{dt^2}$ )

Konstanta  $a$  adalah massa virtual dari momen *inertia* dan  $d \frac{d^2\theta}{dt^2}$  merupakan percepatan sudut yang ditimbulkan dari gerakan *pitch*. Massa dari momen *inertia* kondisi *pitch* adalah momen *inertia* kapal ditambah dengan massa tambah momen *inertia* dari gerak *pitch*.

$$\begin{aligned}
d &= I_{yy} + \delta I_{yy} \\
d &= \frac{\Delta}{g} K_{yy}^2 + \delta I_{yy}
\end{aligned} \tag{2.7}$$

Dimana :

- $\delta I_{yy}$  : Massa tambah momen *inertia* dari kapal untuk gerak *pitch*
- $K_{yy}^2$  : Kuadrat dari jari-jari girasi pada kondisi gerak *pitch*
- $I_{yy}$  : Momen inersia massa struktur

Diasumsikan bahwa distribusi massa secara *longitudinal* sama dengan distribusi *displacement* secara *longitudinal*. Sehingga distribusi vertikal tidak begitu berpengaruh. Titik CG (pusat gravitasi) dari kapal diasumsikan berada di tengah struktur yaitu pada *midship* (Bhattacharya, 1978). Secara pendekatan, jari-jari girasi gerakan *pitch* adalah:

$$K_{yy} = 0.24L \text{ to } 0.26 L \tag{2.8}$$

- *Damping Moment* ( $b \frac{d\theta}{dt}$ )

Koefisien redaman pada gerakan *pitch* dapat diitung dengan melakukan pendekatan *trip theory* yang ditentukan oleh setiap station dan diintegrasikan sebanyak station yang ada di sepanjang struktur.

- *Restoring Moment* ( $c\theta$ )

Perhitungan untuk *Restoring Moment* pada gerakan *pitch* dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
h\theta &= \rho g \theta \int_{-L/2}^{L/2} x^2 y(x) dx \\
&= \rho g \theta I_y
\end{aligned} \tag{2.9}$$

Dimana :

- $h$  : Koefisien *restoring moment*

$I_y$  : Momen inersia dari beban *water plan area*  
 $\rho$  : Massa jenis air laut ( 1.025 ton/m<sup>3</sup>)  
 $g$  : Kecepatan gravitasi ( m/s<sup>2</sup>)  
 $\nabla$  : Volume *displacement*  
 $\Delta$  : *Displacement*  
 $\overline{MB}_l$  : Jari-jari metacenter memanjang  
 $\overline{MG}_l$  : Tinggi metacenter memanjang

Dikarenakan

$$\overline{MB}_l \cong \frac{I_y}{\nabla}$$

$$\Delta = \rho g \nabla$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 h\theta &= \rho g \overline{MB}_l \nabla \theta \\
 &= \rho g \overline{MG}_l \nabla \theta \\
 &= \Delta \overline{MG}_l \theta
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

- *Exciting Force* ( $F = M_o \cos \omega_e t$ )

*Exciting Force* pada gerak *pitch* diakibatkan oleh tidak seimbangnya momen akibat gelombang dari sudut melintang kapal. Sehingga, momen dalam gerak *pitch* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M_\theta = M_o \cos \omega_e t \tag{2.11}$$

### 2.2.2.3 Gerakan *Couple Heave* dan *Pitch*

Bhattacharyya (1972) menyebutkan bahwa *strip theory* dapat digunakan untuk memprediksi gerakan *heave* dan *pitch*. Untuk menggunakan *strip theory*, terlebih dahulu diturunkan dua persamaan masing – masing untuk *heave* dan *pitch*. Persamaan yang diturunkan ini berasal dari hukum kedua Newton, dimana

menurut Newton jumlah gaya yang bekerja pada benda (*strip*) sama dengan perkalian antara massa dengan percepatannya.

Maka untuk persamaan untuk *heave* adalah

$$m.\ddot{\zeta}_3 = \Sigma F_3 \quad (2.12)$$

Dan persamaan untuk *pitch* adalah

$$I.\ddot{\zeta}_5 = \Sigma F_5 \quad (2.13)$$

Dimana:

$\Sigma F_3$  = Total gaya *heave* yang bekerja pada kapal akibat gerak relatif terhadap gelombang

$\Sigma F_5$  = Total momen *pitch* yang bekerja pada kapal akibat gerak relatif terhadap gelombang

$\ddot{\zeta}_3$  = Percepatan *heave*

$\ddot{\zeta}_5$  = Percepatan *pitch*

Ketika sebuah kapal berada di air tenang, gaya apung kapal tersebut akan sama dengan berat kapal tersebut. Namun ketika diberi gaya ke arah bawah menjauh dari titik setimbangnya, daya apung *strip* akan menjadi lebih besar daripada berat strukturnya yang menyebabkan percepatan ke atas. Massa tambah akan muncul karena usaha yang diperlukan ketika percepatan tersebut terjadi. Sehingga, resultan gaya menjadi:

$$\Sigma F = (m + a_z)\ddot{\zeta}_3 \quad (2.14)$$

Dimana:

$m$  = massa dari kapal

$a_z$  = massa tambah pada gerakan *heave*

Kecepatan *strip* ketika bergerak ke atas juga menyebabkan gaya lain karena reaksi hidrodinamika. Gaya ini disebut dengan gaya redaman. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$c_z = (m + a_z)\ddot{\zeta}_3 + b\dot{\zeta}_3 \quad (2.15)$$

Kita asumsikan bahwa *displacement* ke arah bawah bernilai positif sedangkan ke arah atas bernilai negatif. Dikarenakan  $m = \frac{\Delta}{g}$  maka persamaan (2.15) berubah menjadi

$$c_z = \left(\frac{\Delta}{g} + a_z\right)(-\ddot{\zeta}_3) + b(-\dot{\zeta}_3) \quad (2.16)$$

Atau dapat ditulis sebagai berikut

$$\left(\frac{\Delta}{g} + a_z\right)\ddot{\zeta}_3 + b\dot{\zeta}_3 + c_z = 0 \quad (2.17)$$

Jika diasumsikan bahwa *strip* mendapat gangguan ombak dengan amplitudo  $\zeta_a$  maka gaya pertama yang bekerja pada *strip* diakibatkan oleh perubahan sarat air. Selanjutnya, perubahan sarat air yang diakibatkan oleh gangguan yang terus bekerja disebut dengan gaya eksitasi (*exciting force*). Hasil dari gaya ini sama dengan percepatan, kecepatan, dan posisi yang relatif antara *strip* dengan muka air. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$m\ddot{\zeta}_3 + a_z(\ddot{\zeta}_3 - \ddot{\zeta}_w) + b(\dot{\zeta}_3 - \dot{\zeta}_w) + c(\zeta_3 - \zeta_w) = 0 \quad (2.18)$$

Persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi

$$(m + a_z)\ddot{\zeta}_3 + b\dot{\zeta}_3 + c\zeta_3 = a_z\ddot{\zeta}_w + b\dot{\zeta}_w + c\zeta_w \quad (2.19)$$

Dimana :

$\ddot{\zeta}_w$  = percepatan vertikal dari permukaan air.

$\dot{\zeta}_w$  = kecepatan vertikal dari permukaan air

$\zeta_w$  = posisi vertikal dari permukaan air

Ruas kanan pada persamaan (2.19) adalah gaya eksitasi yang bekerja pada *strip*. Untuk mencari gerak kapal terhadap gelombang terlebih dahulu harus mencari gerak relatif kapal terhadap gelombang. Karena itu posisi relatif sepanjang kapal dapat dicari dengan menggunakan  $\zeta_3 - \xi\theta$ . Untuk posisi relatif sepanjang kapal terhadap gelombang dapat dicari menggunakan

$$\zeta_r = \zeta_3 - \xi\theta - \zeta_w \quad (2.20)$$

Untuk gerak *pitching* yang sederhana, persamaan di atas dapat diturunkan terhadap waktu untuk mendapatkan kecepatan vertikal relatif

$$w_r = \dot{\zeta}_r = \dot{\zeta}_3 - (\xi\dot{\zeta}_5 + \theta\dot{\xi}) - \dot{\zeta}_w \quad (2.21)$$

Perlu diingat bahwa ketika kapal bergerak ke depan, kapal tersebut akan bergerak dengan kecepatan sebesar  $u$

$$\frac{d\xi}{dt} = \dot{\xi} = -u \quad (2.22)$$

Sehingga percepatan relatifnya adalah

$$\begin{aligned} \dot{w}_r &= \ddot{\zeta}_3 - \xi\ddot{\zeta}_5 - \dot{\zeta}_5(-u) + u\dot{\zeta}_5 - \ddot{\zeta}_w \\ &= \ddot{\zeta}_3 - \ddot{\zeta}_5 + 2u\dot{\zeta}_5 - \ddot{\zeta}_w \end{aligned} \quad (2.23)$$

Karena persamaan gaya dan gerak relatif telah diketahui, maka repons total sepanjang kapal dapat dicari dengan membagi struktur kapal menjadi beberapa bagian transversal (*strips*) sepanjang kapal. Namun pada tiap tiap *strips* persamaan gaya di atas dapat dipengaruhi oleh gaya geser. Nilai gaya geser ( $\frac{df_n}{d\xi}$ ) ketika dihubungkan dengan gerak relatif dapat dituliskan sebagai berikut



$$\frac{\delta f n}{\delta \xi} = -m_n \ddot{\zeta}_n - (a_n \dot{w}_r + b_n w_r) - c_n \zeta_r \quad (2.24)$$

Dimana :

$m_n \ddot{\zeta}_n$  = Gaya inersia yang diperlukan untuk menggerakkan masa strip

$a_n \dot{w}_r$  = Gaya hidrodinamik yang diperlukan untuk menggerakkan masa tambah

$b_n \dot{w}_r$  = Gaya redaman hidrodinamis akibat kecepatan relatif

$c_n \zeta_r$  = Gaya hidrostatik akibat perubahan posisi relatif

Dikarenakan koefisien  $a_n$ ,  $b_n$ , dan  $c_n$  harus ditentukan untuk tiap – tiap bagian, dikarenakan koefisien tersebut merupakan fungsi terhadap bentuk badan kapal. Nilai  $a_n$  berubah terhadap tiap bagian dan juga waktu. Maka turunan  $\frac{d(a_n w_r)}{dt}$  harus diperhatikan, tidak hanya memperhatikan  $a_n w_r$  saja, sehingga :

$$\begin{aligned} \frac{d(a_n w_r)}{dt} &= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \frac{dw_r}{dt} \\ &= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \dot{w}_r \end{aligned} \quad (2.25)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan (2.25) dengan persamaan (2.24), maka didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$\frac{\delta f n}{\delta \xi} = -m_n \ddot{\zeta}_n - a_n \dot{w}_r - (b_n + \frac{da_n}{dt}) w_r - c_n \zeta_r \quad (2.26)$$

Sekarang nilai gaya *strip* sepanjang kapal dapat dicari dengan mengintegrasikan  $\frac{\delta f n}{\delta t}$  terhadap x, sehingga:

$$\int \frac{\delta f n}{\delta \xi} dx = 0 \quad (2.27)$$

Disini harus diingat bahwa *horizontal displacement* dirumuskan sebagai berikut

$$x = \xi + ut \quad (2.28)$$

Dimana :

$ut$  = displacement antara sumbu utama dengan titik pangkal benda untuk waktu tertentu

$\xi$  = jarak dari origin kapal ke titik dari persamaan yang ditinjau

Pada waktu tertentu  $ut$  akan menjadi konstan sehingga

$$dx = d\xi + d(ut) = d\xi \quad (2.29)$$

Sehingga, penjumlahan gaya menjadi :

$$\int \frac{dfn}{d\xi} d\xi = 0 \quad (2.30)$$

Atau dengan melakukan integral pada persamaan  $\frac{\delta fn}{\delta t}$  menjadi :

$$\begin{aligned} - \int \frac{\delta fn}{\delta \xi} d\xi &= \int m_n \ddot{\zeta}_n d\xi + \int a_n \dot{w}_r d\xi + \left( \int b_n w_r d\xi - u \int \frac{da_n}{dt} w_r d\xi \right) \\ &+ \int c_n \zeta_n d\xi \end{aligned}$$

Dimana:

$$\ddot{\zeta}_n = \ddot{\zeta}_3 - \xi \ddot{\zeta}_5 \quad (2.31)$$

Tekanan hidrostatik di bawah puncak gelombang akan berkurang dikarenakan efek tekanan. Karena itu, persamaan posisi vertikal relatifnya menjadi

$$\zeta_r = \zeta - \xi \theta - \xi e^{-kz} \quad (2.32)$$

Dimana :

$e^{-kz}$  = Faktor penurunan tekanan

Sehingga didapatkan persamaan kecepatan relatifnya adalah

$$w_r = \frac{d\zeta_r}{dt} = \dot{z} - \xi\dot{\zeta}_5 + u\zeta_5 - \dot{\zeta}_w e^{-kz} \quad (2.33)$$

Dan untuk percepatan relatif

$$\dot{w}_r = \frac{dw_r}{dt} = \ddot{\zeta}_3 - \xi\ddot{\zeta}_5 + 2u\dot{\theta} - \ddot{\zeta}_w e^{-kz} \quad (2.34)$$

Untuk penyederhanaan, kita kelompokkan suku – suku yang berhubungan dengan gerak kapal  $(\ddot{\zeta}_3, \dot{\zeta}_3, \dot{\zeta}, \ddot{\zeta}_5, \dot{\zeta}_5, \zeta_5)$  dan yang berhubungan dengan gerak gelombang  $(\ddot{\zeta}_w, \dot{\zeta}_w, \zeta_w)$ . Kita letakkan suku – suku yang berhubungan dengan gerak kapal pada sisi kiri persamaan sebagai respon natural kapal pada *displacement* di air tenang. Pada sisi kanan persamaan kita letakkan suku – suku yang berhubungan dengan gerak gelombang yang disebut dengan *forcing function*. Substitusi  $z_r, w_r, \dot{w}_r, \ddot{z}_n$  dari persamaan (2.32), (2.33), (2.34), (2.31) sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} & \int m_n(\ddot{\zeta}_3 - \xi\ddot{\zeta}_5) d\xi + \int a_n(\ddot{\zeta}_3 - \xi\ddot{\zeta}_5 + 2u\dot{\theta} - \xi e^{-kz}) d\xi \\ & + \left( \int b_n(\dot{\zeta}_3 - \xi\dot{\zeta}_5 + u\zeta_5 - \xi e^{-kz}) d\xi \right) \\ & - \left( \int \frac{dq}{d\xi}(\dot{\zeta}_3 - \xi\dot{\zeta}_5 + u\zeta_5 - \xi e^{-kz}) + \int c_n(\zeta_3 - \xi\zeta_5 \right. \\ & \left. - \xi e^{-kz}) d\xi = 0 \end{aligned} \quad (2.35)$$

Dilakukan penyusunan kembali dengan mengelompokkan persamaan sisi kiri dan sisi kanan sehingga menghasilkan

$$\begin{aligned} & m_n(\ddot{\zeta}_3 - \xi\ddot{\zeta}_5) + a_n(\ddot{\zeta}_3 - \xi\ddot{\zeta}_5 + 2u\dot{\theta}) + \frac{dq}{d\xi}(\dot{\zeta}_3 - \xi\dot{\zeta}_5 + u\zeta_5) \\ & + c_n(z - \xi\zeta_5) \\ & = \xi e^{-kz} a_n - \xi e^{-kz} b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \xi e^{-kz} + \xi e^{-kz} c_n \end{aligned} \quad (2.36)$$

Ruas kanan pada persamaan (2.34) melambangkan *exciting force* pada tiap *strip* yang diakibatkan oleh gelombang  $dF/dx$ . Jika diasumsikan bahwa gelombang reguler dan harmonic maka  $\zeta$  dapat ditulis sebagai berikut

$$\zeta = \zeta_a \sin k (x - V_w t) \quad (2.37)$$

Kombinasikan persamaan (2.37) dengan persamaan (2.27) untuk mendapatkan besaran amplitudo sebagai

$$\zeta = \zeta_a \sin k [\xi + (u - v_w)t] \quad (2.38)$$

Karena  $-k(u - v_w) = \omega_e$  dan  $\omega_e$  merupakan frekuensi *encounter*, maka kecepatan dan percepatan elevasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\zeta = \zeta_a \sin (k\xi - \omega_e t) \quad (2.39)$$

$$\dot{\zeta} = -\zeta_a \omega_e \cos (k\xi - \omega_e t) \quad (2.40)$$

$$\ddot{\zeta} = -\zeta_a \omega_e^2 \sin (k\xi - \omega_e t) \quad (2.41)$$

Substitusi  $\ddot{\zeta}_w, \dot{\zeta}_w, \zeta_w$  ke dalam persamaan (3.36) sehingga didapatkan persamaan dasar gerakan kopel *pitch* dan *heave*

$$(m + a_z)\ddot{\zeta}_3 + b\dot{\zeta}_3 + c\zeta_3 + d\ddot{\zeta}_5 + e\dot{\zeta}_5 + h\zeta_5 = F(t) \quad (2.42)$$

Dimana:

$$m = \int m_n d\xi$$

$$a_z = \int a_n d\xi$$

$$b = \int b_n d\xi$$

### 2.2.3 Response Amplitude Operators (RAO)

*Response Amplitude Operator* (RAO) merupakan alat untuk mentransfer beban luar dalam hal ini gelombang dalam rentang frekuensi menjadi bentuk respon yang diterima pada suatu struktur. Sehingga umumnya RAO juga dikenal

sebagai *transfer function* (Chakrabarti, 1987). Selain itu RAO juga bisa diartikan sebagai hubungan antara amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang ( $\zeta_{\text{respon}}/\zeta_{\text{gelombang}}$ ). Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran.

Respons gerakan RAO untuk gerakan translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan struktur dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan elevasi panjang) (Djtmiko, 2012). Persamaan RAO untuk gerakan translasi sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \left( \frac{\text{Amplitudo Respon Gerakan}}{\text{Amplitudo Gelombang}} \right) = \left( \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} \right) (m/m) \quad (2.12)$$

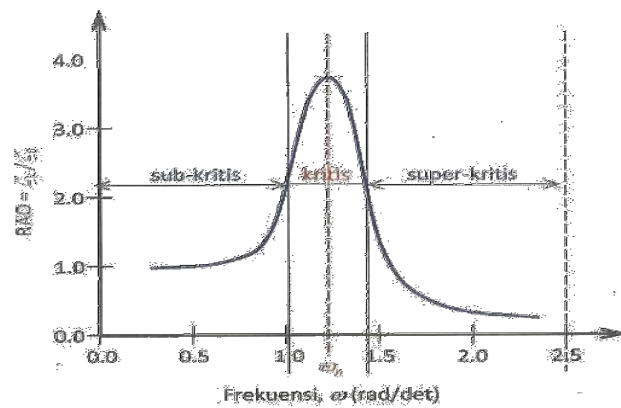
dimana :

$\zeta_{k0}$  : Amplitudo struktur (m)

$\zeta_0$  : Amplitudo gelombang (m)

Sedangkan untuk respons gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara gelombang ( $k_w = \omega^2/g$ ) dengan amplitudo gelombang insiden (Djtmiko, 2012):

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g) \zeta_0} (rad/rad) \quad (2.13)$$



**Gambar 2.51** Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung  
(Djarmiko, 2012)

Mengacu pada Gambar 2.5, kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian:

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau  $\omega^2$  kurang dari  $k/(m+a)$ , gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni  $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.
- Ketiga adalah daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons

gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu, gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana  $\omega^2$  kurang dari  $k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor massa (Djarmiko, 2012).

#### 2.2.4 Respon Spektra

Spektra respon bangunan apung adalah distribusi energi respon gerakan bangunan apung di gelombang acak. Spektra respon ini diperoleh dari hasil perkalian antara spektra gelombang dengan RAO kuadrat. RAO merupakan respon bangunan pada gelombang regular sehingga RAO bernilai linear sedangkan spektra gelombang merupakan parameter non linear sehingga keduanya tidak dapat dikalikan secara langsung. Untuk mengubah RAO menjadi parameter non linear maka RAO harus dikuadratkan sehingga nantinya setara dengan spektra gelombang dan dapat dikalikan. Spektra respon dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini

$$S_R = (RAO_{(\omega)})^2 \times S_{(\omega)} \quad (2.14)$$

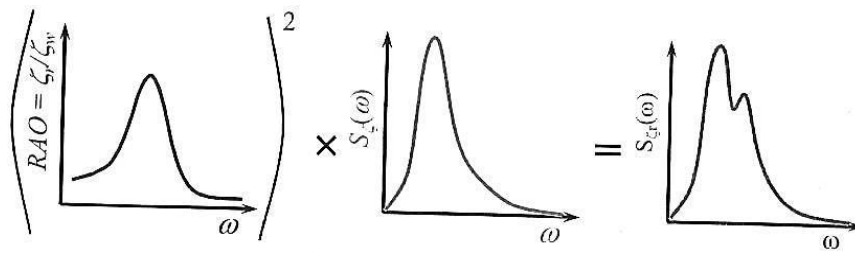
Dengan :

$S_R$  : Respon spektra struktur ( $m^2$ -sec)

$S_{(\omega)}$  : Spektrum gelombang ( $m^2$ -sec)

$(RAO_{(\omega)})^2$  : *Transfer function*

$\omega$  : Frekuensi gelombang (rad/sec)



**Gambar 2.62** Transformasi Spektra Gelombang menjadi Spektra Respons

(Sumber: Djatmiko, 2012)

Gambar 2.6 merupakan hasil transformasi grafik spektra gelombang dengan grafik  $(RAO)^2$  menjadi grafik spektra respon.

### 2.2.5 Teori Slamming

*Slamming* adalah peristiwa yang terjadi akibat gerakan vertikal kapal dan dalam kondisi gerakan ekstrim dapat menyebabkan haluan kapal keluar dari permukaan air dan akan mengalami *slamming* pada saat haluan kapal kembali jatuh ke permukaan air. *Slamming* akan terjadi apabila 2 (dua) syarat berikut terpenuhi:

- Dasar haluan naik melewati (*emerge*) gelombang, atau dengan kata lain gerakan relatif bertikal haluan melampaui sarat air bagian haluan
- Kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati kecepatan ambang batas *slamming* atau *threshold velocity*. Efek dari *slamming* hanya terjadi atau dialami oleh kapal bila pada saat bagian dasar haluan masuk kembali ke dalam air dan memiliki kecepatan yang cukup besar. Bila kecepatan terlalu rendah maka haluan dapat dikatakan hanya tercelup ke dalam air, sehingga efek hempasan dari *slamming* tidak dapat dirasakan.

#### 2.2.5.1 Peluang Kejadian *Slamming*

Peluang terjadinya *slamming* harus memenuhi syarat yaitu dasar haluan naik melewati (*emerge*) gelombang dan kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati kecepatan ambang batas *slamming* atau



*threshold velocity*. Diperlukan perhitungan peluang gerakan vertikal haluan relatif yang lebih besar dari sarat air bagian haluan, dalam matematis ditulis sebagai berikut :

$$\Pr(\text{haluan terangkat}) = \Pr(Z_{br} > T_b) = \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}}\right) \quad (2.15)$$

Peluang kecepatan relatif vertikal haluan lebih besar dari kecepatan ambang batas *slamming* perlu diketahui juga dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Pr(\text{kec. ambang batas terlampaui}) = \Pr(V_{br} > V_{th}) = \exp\left(-\frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right) \quad (2.16)$$

Dimana:

$Z_{br}$  : Gerakan relatif vertikal haluan

$V_{br} = \dot{Z}_{br}$  : Kecepatan relatif vertikal haluan

$T_b$  : Sarat air di haluan (posisi slamming ditinjau)

$V_{th}$  : Kecepatan ambang batas slamming

$m_{0Zbr}$  : Varian atau luasan di bawah spektra respons gerakan relatif vertikal haluan

$m_{0Vbr}$  : Varian atau luasan di bawah spektra respons kecepatan relatif vertikal haluan

$m_{0Vbr} = m_{2Zbr}$  : Momen kedua luasan di bawah spektra respons gerakan relatif vertikal haluan.

Dari dua persamaan diatas, dapat dikombinasikan untuk mendapatkan peluang terjadinya *slamming* dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Pr(\text{slam}) = \Pr(Z_{br} > T_b \text{ dan } V_{br} > V_{th}) = \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right) \quad (2.17)$$

Untuk kecepatan ambang batas atau lebih dikenal dengan *threshold velocity* dapat diperoleh dengan mengambil acuan sebagai berikut :

- harga  $V_{th} = 0.5$  m/det sebagai harga rata-rata bila bangunan laut melaju dengan kecepatan sekitar  $Fn = 0.10$ . Bila kecepatan rendah ( $Fn = 0.05$ ) dapat diambil  $V_{th} = 0.775$  m/det, atau bila kecepatan lebih tinggi ( $Fn = 0.145$ ) dapat diambil  $V_{th} = 0.20$  m/det (Tasai. 1965).
- $V_{th} = 12.0$  ft/det (= 3.65 m/det) untuk kapal dengan panjang ( $L_{ref}$ ) 520 ft (= 158.5 m), bila panjang kapal mempunyai harga ( $L_s$ ) berbeda maka  $V_{th}$  dapat diperoleh dengan memperhitungkan hukum skala, yakni  $V_{th} = 12\sqrt{L_s / L_{ref}}$  ft/det. Sebagai misal kapal yang dikaji mempunyai  $L_s = 550$  ft (= 167.6 m) maka kecepatan ambang batasnya adalah  $V_{th} = 12\sqrt{550 / 520} = 12.6$  ft/det (= 3.84 m/det) (Bhattacharyya. 1978).

Dalam analisis slamming  $m_{0Zbr}$  dan  $m_{0Vbr}$  dapat diperoleh dengan melakukan analisis spektra respons gerakan (dan kecepatan) relatif vertikal haluan, yakni dengan terlebih dulu melakukan komputasi RAO  $Z_{br}$  dan  $V_{br}$ .

#### 2.2.5.2 Intensitas Slamming

Penentuan jumlah kejadian slamming per satuan waktu dapat dihitung dengan memakai persamaan berikut :

$$N_{slam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \Pr(slam) \text{ 1/det} \quad (2.18)$$

atau

$$N_{slam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right) \text{ 1/det} \quad (2.19)$$

atau

$$N_{slam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2Zbr}}\right) 1/\det \quad (2.20)$$

Bilamana ingin diketahui jumlah kejadian slamming dalam waktu operasi tertentu ( $T_0$  jam), maka dapat dihitung dengan modifikasi persamaan sebelumnya menjadi :

$$N_{slam(T_0 \text{ jam})} = \frac{3600 \times T_0}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2Zbr}}\right) \quad (2.21)$$

### 2.2.5.3 Tekanan Slamming

Besarnya tekanan yang terjadi pada dasar kapal di haluan akibat terjadinya *slamming* dapat dihitung dengan mempertimbangkan kecepatan relatif vertikal haluan ekstrim  $\hat{V}_{br}$  (Djatkiko, 2002) , yakni:

$$P_s = \frac{1}{2} \rho k \hat{V}_{br}^2 \text{ (kPa)} \quad (2.22)$$

Dimana  $\rho$  adalah massa jenis air laut, k koefisien *slamming* (= 9.0 rata – rata). Kecepatan relatif vertikal haluan  $\hat{V}_{br}$  dapat dihitung dengan persamaan:

$$\hat{V}_{br} = \sqrt{2 \times \ln\left\{\frac{3600T_0}{2\pi} \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right)\right\} \sqrt{\frac{2m_{2Vbr}}{2m_{0Zbr}}} \times \sqrt{2m_{0Zbr}}} \quad (2.23)$$

Atau

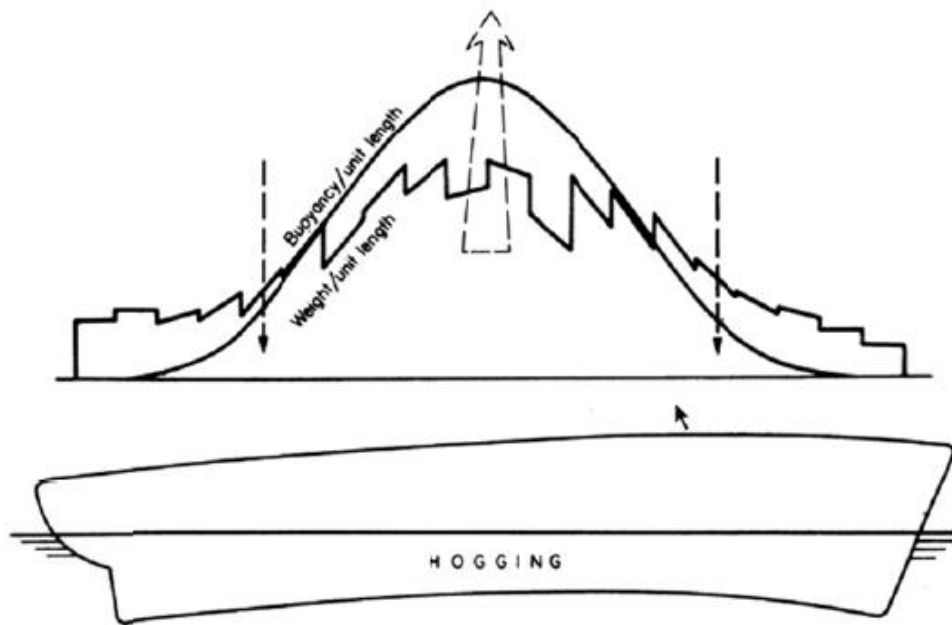
$$\hat{V}_{br}^2 = 2 \times \ln\left\{\frac{3600T_0}{2\pi} \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right)\right\} \sqrt{\frac{2m_{2Vbr}}{2m_{0Zbr}}} \times 2m_{2Zbr} \quad (2.24)$$

Sehingga tekanan akibat *slamming* menjadi:

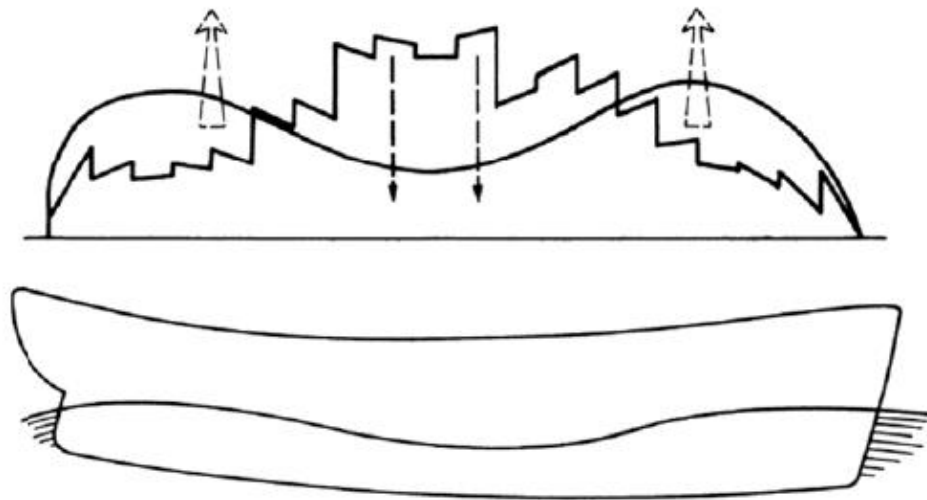
$$P_s = \rho k \times \ln\left\{\frac{3600T_0}{2\pi} \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right)\right\} \sqrt{\frac{2m_{2Vbr}}{2m_{0Zbr}}} \times 2m_{2Zbr} \quad (2.25)$$

### 2.2.6 Kekuatan Memanjang Ditambah Beban Slamming

Dua kondisi yang perlu diperhatikan yang memiliki pengaruh besar dalam kekuatan memanjang kapal adalah, suatu kondisi dimana puncak gelombang pada *amidship* dan kondisi dimana puncak gelombang terdapat pada ujung-ujung kapal. Maka kapal akan mengalami *hog* dan juga *sag*. Pada kondisi tertentu *hogging* dan *sagging* mengalami nilai yang besar karena kondisi distribusi massa kapal.



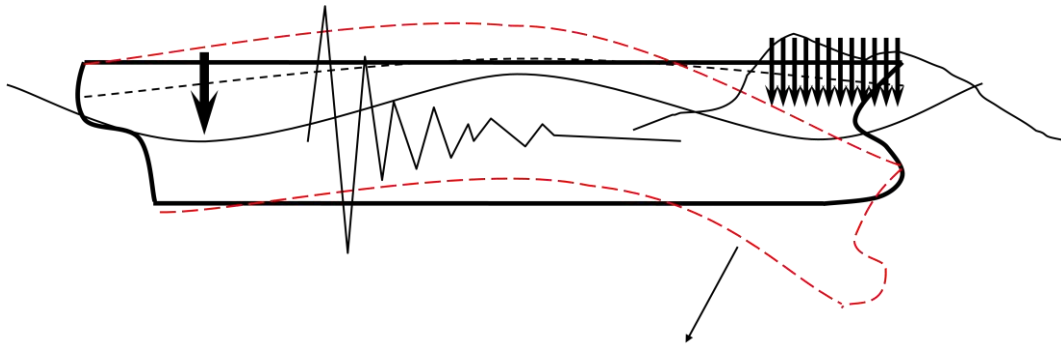
**Gambar 2.7** Ilustrasi kondisi Hogging  
(Rawson and Tupper, 2001)



**Gambar 2.8** Ilustrasi kondisi Sagging  
(Rawson and Tupper, 2001)

Pada dasarnya kekuatan memanjang kapal diakibatkan oleh gaya vertikal yang dialami oleh girder badan kapal yakni gaya berat dan gaya *buoyancy* seperti ditunjukkan pada gambar 2.7 dan 2.8. Untuk suatu *floating body* total berat harus sebanding dengan total *buoyancy*, dan kedua gaya tersebut harus beraksi sepanjang garis yang sama. Gaya berat dipengaruhi oleh kombinasi berat kapal dan berat muatan yang memiliki lokasi berat yang tetap, sedangkan gaya *buoyancy* dipengaruhi bentuk badan kapal juga keadaan *draft* dan *trim* kapal. Gerakan osilasi melendut yang terjadi berulang kali selama masa operasi yang terhitung cukup lama akan berakumulasi menjadi beban siklis yang akhirnya bisa menimbulkan kegagalan struktur dalam bentuk kegagalan atau *fatigue*.

Namun pada saat beroperasi khususnya di keadaan cuaca yang ekstrem dapat terjadi *slamming* yang menimbulkan dampak *impact pressure* pada struktur lokal di bagian dasar haluan, yaitu *hull whipping* (perilaku lambung fleksibel seperti gerak lecutan) dan juga beban transient yang menambah beban momen lengkung pada lambung yang bisa dilihat pada Gambar 2.9 berikut.



**Gambar 2.9** Defleksi akibat beban gelombang dan *slamming*

### 2.2.7 Gaya Geser (*Shear Force*) dan Momen Lengkung (*Bending Moment*) akibat Beban Gelombang

Memahami adanya perilaku bangunan laut diatas gelombang (*hogging* dan *sagging*) yang dapat mengakibatkan kegagalan struktur, maka dilakukan penghitungan efek beban gelombang terhadap respons struktur. Pada dasarnya formulasi dasar respons struktur adalah transformasi tekanan dinamis gelombang pada elemen-elemen struktur kapal, menjadi gaya-gaya dan momen internal, dengan memasukkan tekanan dinamis akibat pengaruh gerakan (Djatkiko, 2012). Mengacu pada *code* American Bureau Shipping untuk perhitungan shear force dan bending moment adalah sebagai berikut

Untuk momen ketika Sagging

$$M_{ws} = -k_1 C_1 L^2 B (C_b + 0.7) \times 10^{-3} \quad (2.26)$$

Untuk momen ketika Hogging

$$M_{wh} = +k_2 C_1 L^2 B C_b 10^{-3} \quad (2.27)$$

Dimana,

$$k_1 = 110$$

$$k_2 = 190$$

$$C_1 = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1.5} \quad \text{untuk } 90\text{m} < L < 300\text{m}$$

$$L = \text{Panjang kapal}$$

$$C_b = \text{Koeffisien block}$$

B = Lebar kapal

Dan *shear force* akibat gaya gelombang dihitung dengan persamaan

$$F_{wp} = +kF_1C_1LB(C_b + 0.7) \times 10^{-2} \quad (2.28)$$

$$F_{wn} = -kF_2C_1LB(C_b + 0.7) \times 10^{-2} \quad (2.29)$$

Dimana,

$k = 30$

$C_1 = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1.5}$  untuk  $90\text{m} < L < 300\text{m}$

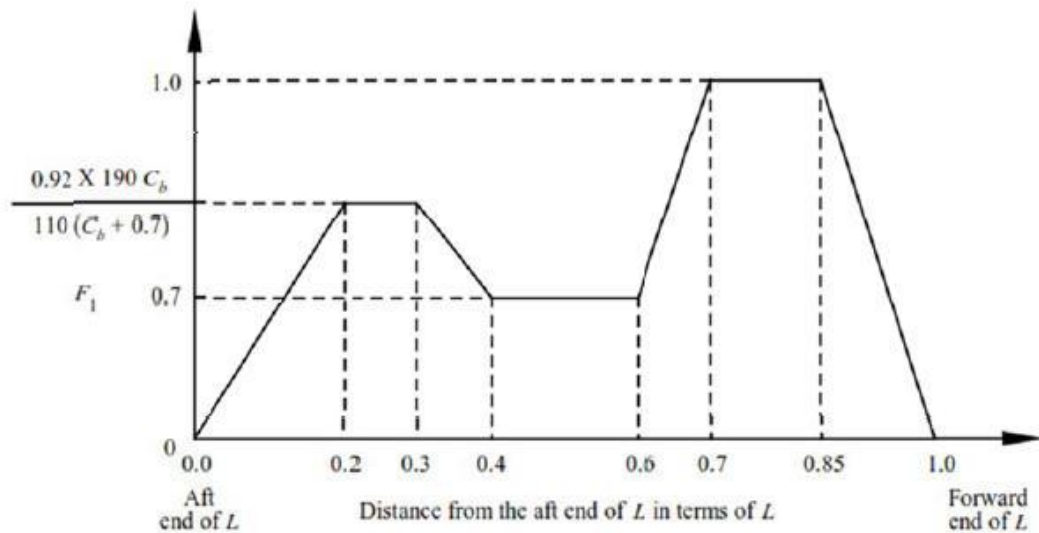
$L$  = Panjang kapal

$C_b$  = Koeffisien block

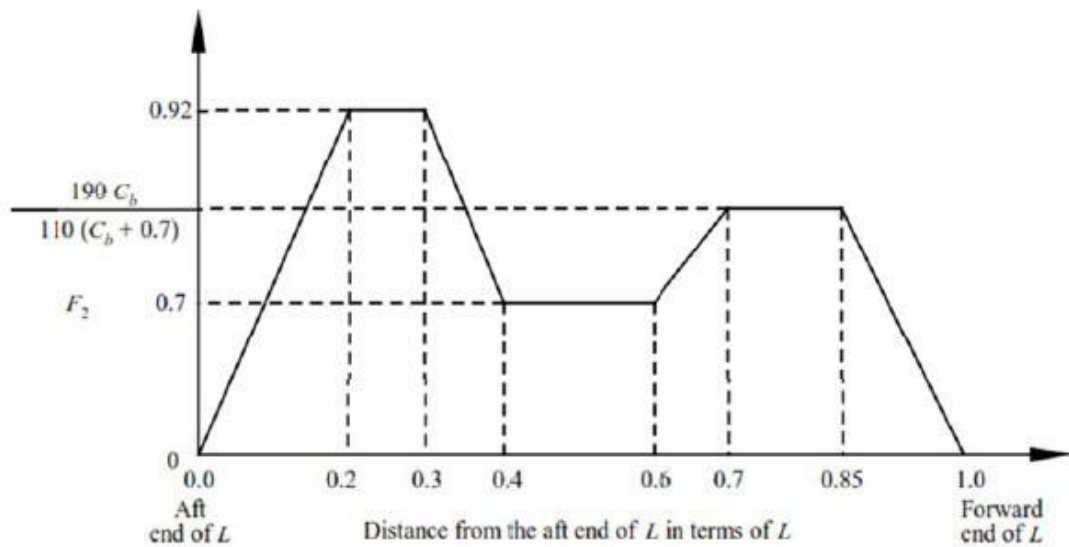
B = Lebar kapal

$F_1$  = Faktor distribusi, pada gambar grafik 2.9

$F_2$  = Faktor distribusi, pada gambar grafik 2.10



**Gambar 2.10** Faktor distribusi untuk  $F_1$  (ABS, 2014)



**Gambar 2.11** Faktor distribusi untuk  $F_2$  (ABS, 2014)

### 2.2.8 Perhitungan Respons Struktur dengan Metode Quasi-Statik

Perhitungan dengan metode quasi-statis adalah perhitungan dengan pendekatan statis terhadap perilaku dinamis benda apung. Maksudnya adalah perubahan pada bangunan laut tersebut terjadi sangat lambat sehingga respons objek terhadap beban eksternal dianggap statis.

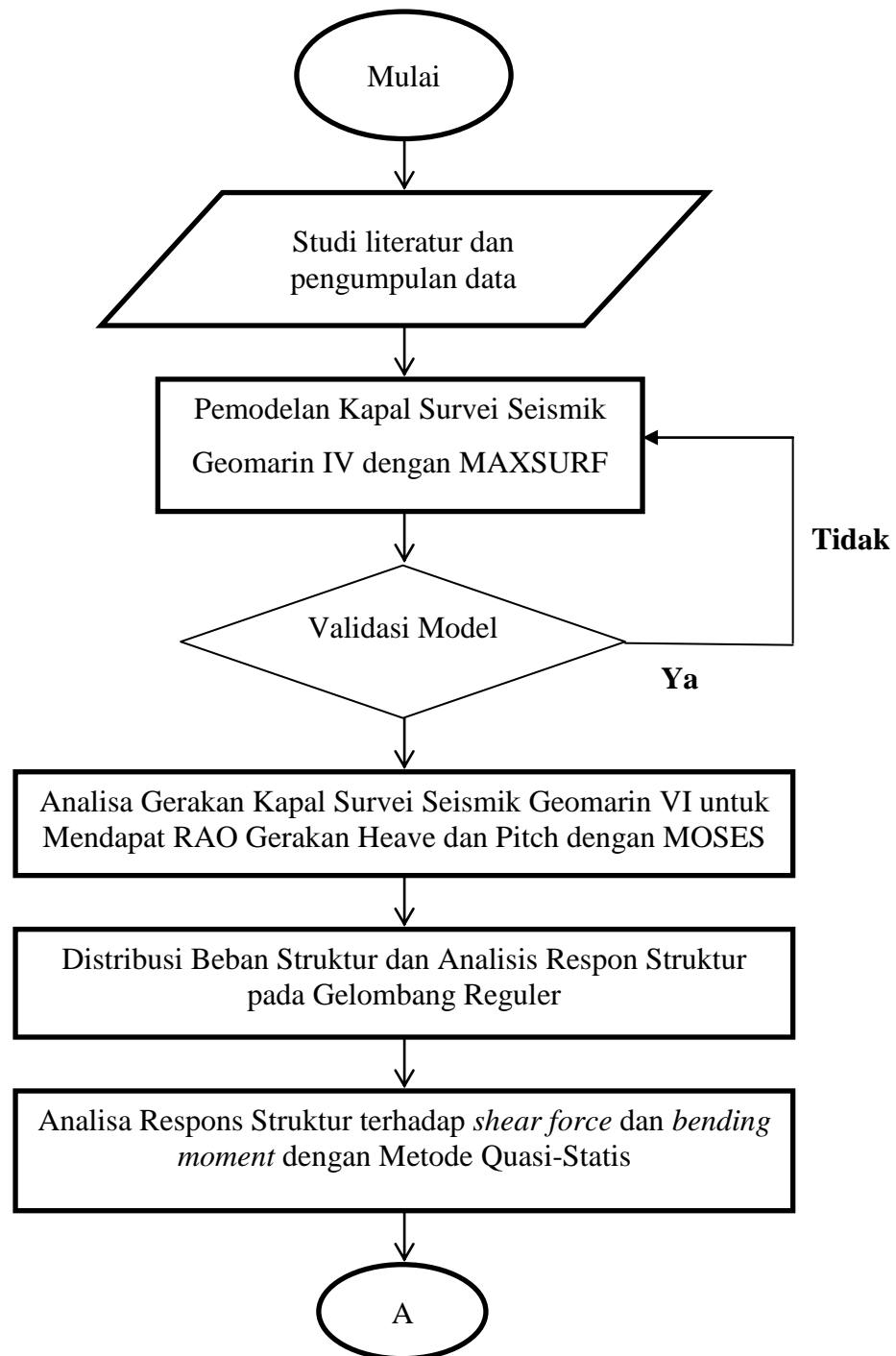
Dalam tugas akhir ini gerak kapal survei seismik Geomarin IV ditinjau pada tiap – tiap siklus gelombang yang terjadi. Untuk perhitungan respons struktur dengan metode quasi-statis, perhitungan dilakukan pada saat kapal bergerak kopel *heave-pitch* dengan tinggi gelombang 6m. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga agar kemiringan kapal tidak terlalu besar, sehingga dapat mengakibatkan nilai *shear force* dan *bending moment* yang jauh lebih besar dari kondisi sebenarnya pada saat kapal ini beroperasi. Dimana kapal survei seismik ini beroperasi di kondisi perairan tertutup seperti Indonesia yang mempunyai tinggi gelombang yang tidak terlalu besar.

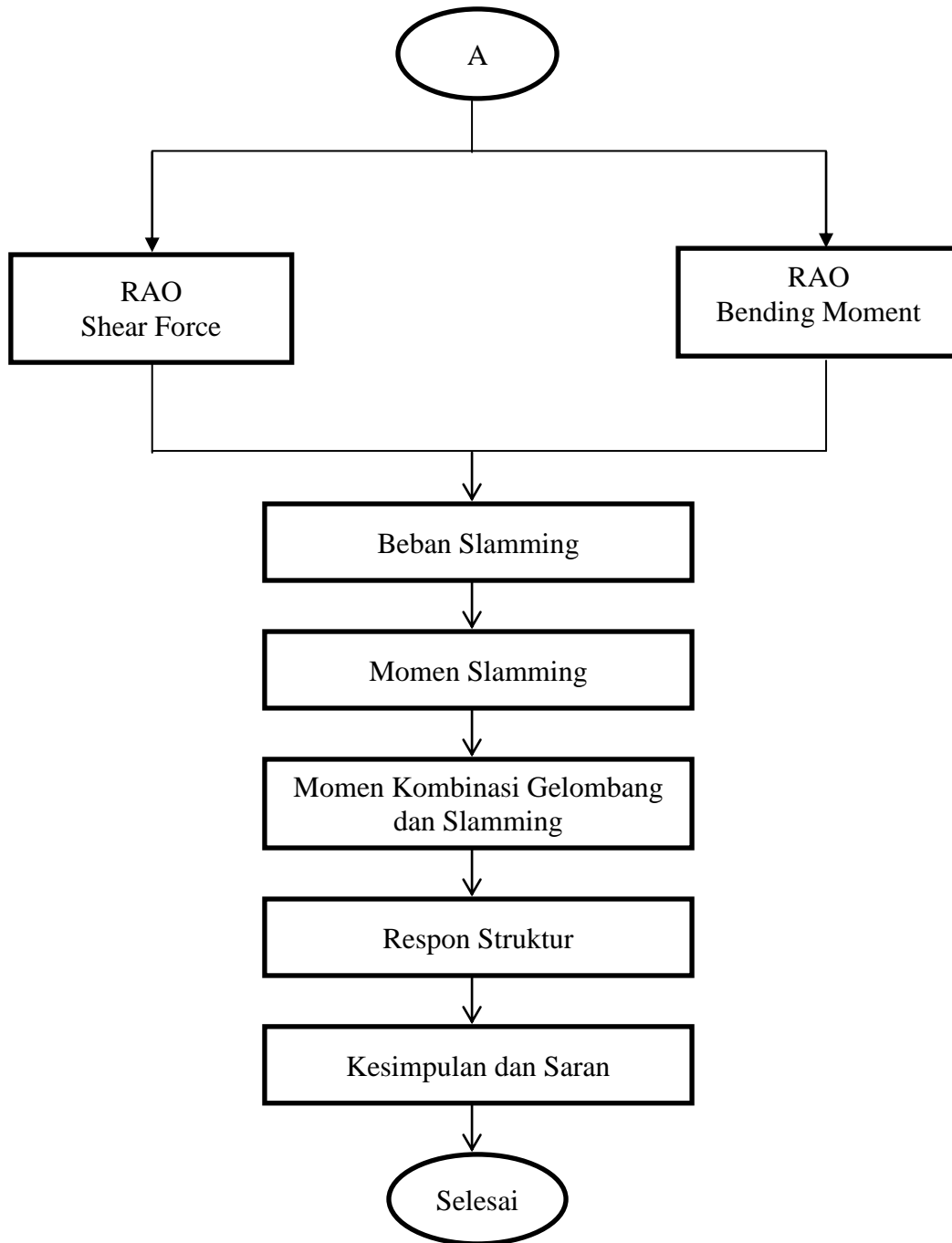
Pada perhitungan dengan menggunakan metode quasi-statis ini, hasil frekuensi gelombang respons gerak kapal dalam dua mode gerakan yakni *heave* dan *pitch* diambil untuk divariasi periodenya yang selanjutnya digunakan untuk analisis respons struktur kapal.



### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir





**Gambar 3.1** Diagram Alir

### 3.2 Prosedur Penelitian

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini beberapa tahap pengerjaan. Tahapan-tahapan tersebut merupakan langkah-langkah guna mencapai tujuan dalam Tugas akhir ini. Tahapan-tahapan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

a. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari dasar teori, studi pustaka dari penelitian terbaru, peraturan/regulasi yang relevan dan dibutuhkan selama pengerjaan Tugas Akhir ini. Studi literatur dapat diperoleh dari buku, tugas akhir, jurnal, Code/Standard, peraturan/regulasi baik nasional maupun internasional.

b. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan berupa *general arrangement* kapal survei seismic *Geomarin IV*, dan data lingkungan laut dengan *seastate* terbesar di Indonesia beserta detail data teknis perancangan yang diperoleh dari PT Citra Mas.

c. Pemodelan dan Validasi Struktur Kapal Survei Seismik Geomarin IV

Pemodelan struktur ini menggunakan bantuan MAXSURF yang mengacu pada data utama kapal Geomarin IV dari hasil penelitian sebelumnya untuk mendapatkan data hidrostatik dan rencana garis dengan deviasi tidak lebih dari 5%.

d. Analisa Gerakan Kapal Survei Seismik Geomarin IV

Setelah model selesai dan validasi telah selesai, langkah berikutnya adalah melakukan analisa dinamis gerakan kapal Geomarin IV dengan menggunakan *software* MOSES untuk mendapatkan karakteristik hidrodinamis seperti RAO.

- e. Distribusi Beban Struktur dan Analisis Respon Struktur pada Gelombang Reguler
- Distribusi beban pada tiap – tiap bagian kapal. Dari gambar bonjean, nilai *buoyancy* pada tiap *station* akan didapatkan.
- f. Menghitung Beban Slamming
- Untuk menentukan tekanan akibat beban *slamming* dapat dilakukan dengan mempertimbangkan kecepatan relatif vertikal haluan ekstrim  $\hat{V}_{br}$ , yakni dimana  $\rho$  adalah massa jenis air laut, k koefisien *slamming* (= 9.0 rata – rata). Kecepatan relatif vertikal haluan  $\hat{V}_{br}$  dapat dihitung dengan persamaan 3.100. Setelah tekanan didapatkan lalu nilai tersebut dikalikan dengan luas daerah pada titik tinjau untuk mendapatkan beban *Slamming*.
- g. Analisa Respons struktur terhadap *shear force* dan *bending moment* dengan Metode Quasi-Statik
- Dari integral selisih distribusi berat dan *buoyancy* akan didapatkan *shear force* sepanjang badan kapal. Dari integral nilai *shear force* tersebut akan didapatkan nilai *bending moment* sepanjang badan kapal. Selanjutnya, sebelum melakukan analisa respons struktur dengan pendekatan Quasi-Statik, terlebih dahulu dilakukan langkah – langkah di bawah ini.
- Menentukan frekuensi dan periode tertentu yang akan dianalisa.
  - Menentukan frekuensi yang ditinjau sehingga didapatkan nilai RAO *heave*, sudut fase *heave*, RAO *pitch*, dan sudut fase *pitch* pada frekuensi tertentu.
  - Membagi periode yang didapatkan dari frekuensi yang ditinjau menjadi sepuluh variasi periode.
  - Dari data – data tersebut akan didapatkan pergerakan gelombang ( $\cos \omega t$ ), pergerakan *heave* ( $\cos(\omega t + \varepsilon z)$ ) serta pergerakan *pitch* ( $\cos(\omega t + \varepsilon q)$ ) pada tiap variasi periode.
  - Dengan adanya pergerakan gelombang, maka pergerakan *heave*, *pitch*, dan *buoyancy* menjadi berbeda – beda.

Setelah analisa quasi-statis selesai dilakukan, nilai maksimum dari *shear force* dan *bending moment* pada tiap frekuensi yang telah ditinjau akan dikelompokkan. Nilai – nilai maksimum dari *shear force* dan *bending moment* yang telah dikelompokkan tersebut akan membentuk RAO *shear force* dan *bending moment*.

h. RAO *shear force* dan *bending moment*

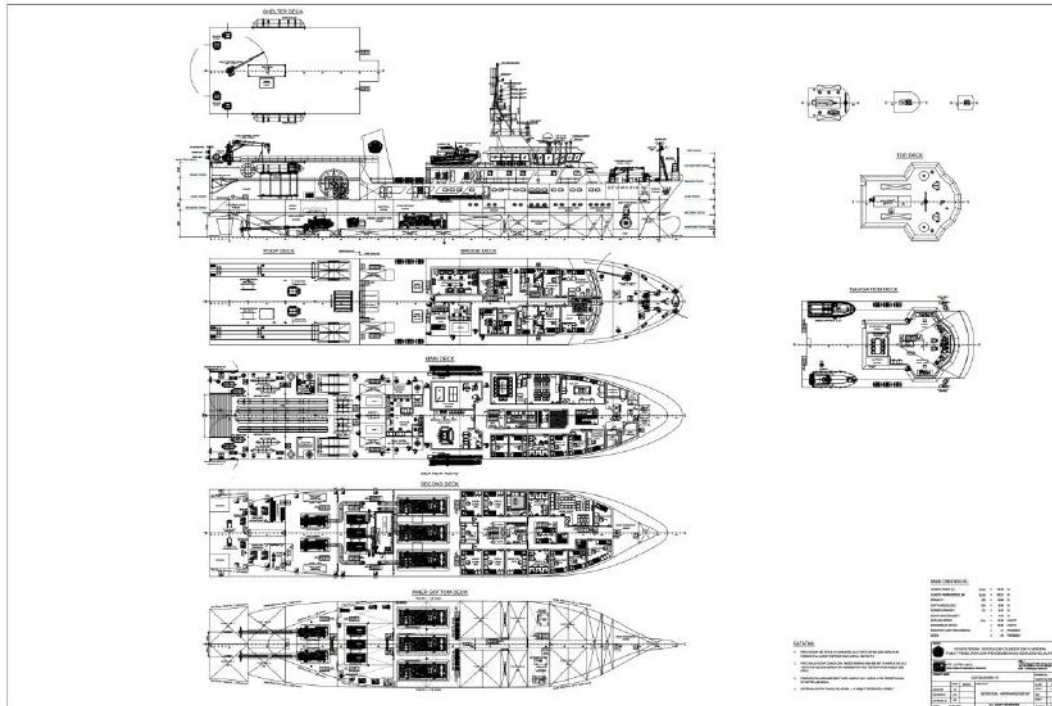
Setelah analisa quasi-statis selesai dilakukan, nilai maksimum dari *shear force* dan *bending moment* pada tiap frekuensi yang telah ditinjau akan dikelompokkan. Nilai – nilai maksimum dari *shear force* dan *bending moment* yang telah dikelompokkan tersebut akan membentuk RAO *shear force* dan *bending moment*.

### 3.3 Pengumpulan Data

#### 3.3.1 Data Kapal Survei Seismik Geomarin IV

**Tabel 3.1** Principal Dimension Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*  
(sumber: PT. Citra Mas, 2016)

Description	Value	Unit
Length Overall	76.2	m
Length Between Perpendicular	69.31	m
Breadth (moulded)	14.8	m
Depth (moulded)	6.5	m
Design draft	4.2	m
Scantling draft	4.2	m
Maximum Speed	15	Knot



**Gambar 3.2** General Arrangement Kapal Survei Seismik Geomarin IV  
(Sumber: PT. Citra Mas, 2017)

### 3.3.2 Data Lingkungan Laut Masela

**Tabel 3.2** Data lingkungan Laut Masela dengan *return period* 10 tahun  
(Sumber: Inpex Masela Report)

DIRECTION (from)	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$H_c$ (m)	$H_{max}$ (m)	$TH_{max_{lower}}$ (s)	$TH_{max_{mid}}$ (s)	$TH_{max_{upper}}$ (s)
<b>1-year</b>							
North	2.0	8.1	2.3	3.7	6.3	7.1	9.0
North-east	1.5	7.8	1.7	2.8	6.0	6.8	8.9
East	1.1	7.4	1.2	2.0	5.7	6.5	8.7
South-east	1.3	7.6	1.5	2.5	5.9	6.7	8.8
South	2.6	8.4	3.0	4.9	6.7	7.4	9.2
South-west	4.0	9.6	4.6	7.6	7.8	8.5	10.2
West	4.4	9.9	5.1	8.3	8.1	8.7	10.4
North-west	4.4	9.9	5.1	8.3	8.1	8.7	10.4
<b>10-years</b>							
North	3.1	8.6	3.6	5.9	6.9	7.6	9.3
North-east	2.4	8.3	2.8	4.5	6.6	7.3	9.1
East	1.7	7.9	1.9	3.2	6.2	7.0	8.9
South-east	2.1	8.1	2.4	3.9	6.4	7.2	9.0
South	4.1	9.7	4.7	7.8	7.9	8.6	10.3
South-west	6.4	11.3	7.4	12.1	9.3	9.9	11.5

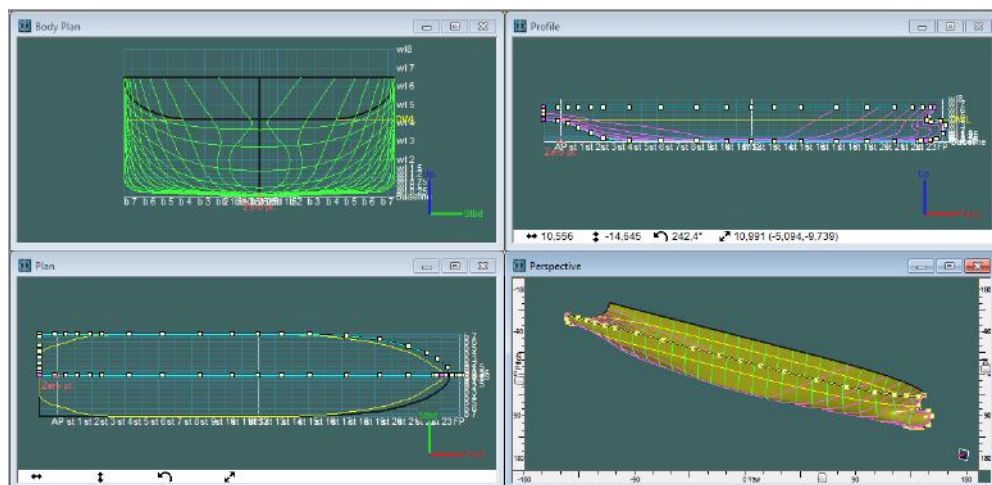
## BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pemodelan Struktur Kapal Survei Seismik Geomarin IV

Pemodelan Kapal Survei Seismik Geomarin IV dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf dan MOSES dengan acuan data *General Arrangement* dan *Principal Dimension*.

#### 4.1.1 Pemodelan pada Software Maxsurf

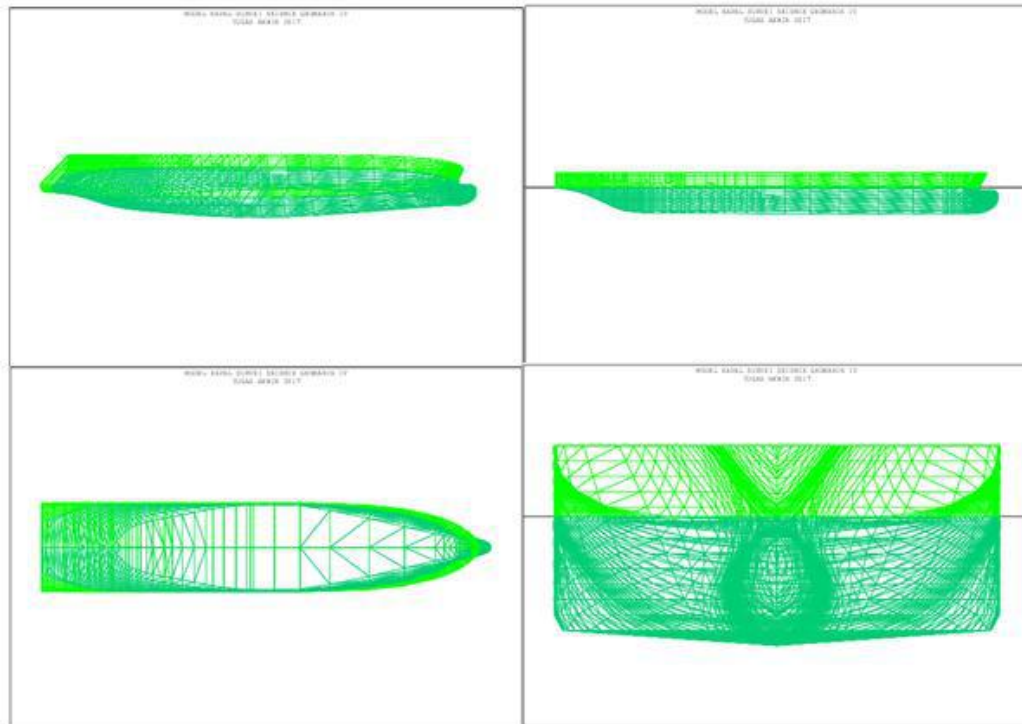
Pemodelan Kapal dilakukan pada Maxsurf untuk mendapatkan data hidrostatik kapal dan dilakukan pada kondisi *full load*. Hasil dari pemodelan kapal dengan menggunakan *software* Maxsurf Modeler dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Pemodelan kapal dengan Maxsurf Modeler

#### 4.1.2 Pemodelan pada Software MOSES

Pemodelan pada *software* MOSES didasarkan pada ordinat dari Maxsurf. Pemodelan ini dilakukan untuk analisa gerak kapal dan juga sebagai pembanding dari hasil pemodelan pada Maxsurf. Hasil dari pemodelan kapal dengan menggunakan *software* MOSES dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Pemodelan kapal dengan MOSES

## 4.2 Hidrostatik

Dengan *software* Maxsurf dapat diketahui data hidrostatik dan kemudian dapat digunakan untuk melakukan validasi agar mendapatkan model kapal yang sama dengan keadaan sebenarnya, maka perlu dilakukan validasi data hidrostatik. Validasi model dilakukan dengan membandingkan data hasil hidrostatik yang dikeluarkan *software* Maxsurf dengan data hidrostatik Kapal Geomarin IV yang sudah ada. Dalam hal ini, validasi model dilakukan dalam kondisi *full load*.

Besaran-besaran hidrostatik yang dibandingkan akan terdapat pada Tabel 4.1 dibawah ini. Perbedaan hasil perhitungan hidrostatik yang diperoleh antara Maxsurf dengan hidrostatik data pada Kapal Geomarin IV diberikan toleransi atau faktor *error* sebesar 2%. Toleransi atau faktor error ini mengacu kepada *acceptance tolerance* pada kriteria IACS. Dengan demikian hasil perancangan *lines plan* pada kapal adalah valid untuk dipakai sebagai input dalam menghitung karakteristik gerakan kapal. Hasil validasi bisa dilihat pada Tabel 4.1.



**Tabel 4.1** Koreksi hidrostatik data dengan model Maxsurf kondisi *full load*

No	Data	Unit	Data Hidrostatik Kapal*	Data Hidrostatik Model	Koreksi (%)	Status
1	<i>Displacement</i>	tonne	3161	3195	-1,08	Memenuhi
2	<i>Volume</i>	m <sup>3</sup>	3083,902	3117,372	-1,09	Memenuhi
3	<i>Draft Amidship</i>	m	4,2	4,2	0,00	Memenuhi
4	<i>LWL</i>	m	72,513	72,563	-0,07	Memenuhi
5	<i>Beam LWL</i>	m	14,8	14,8	0,00	Memenuhi
6	<i>Wetted Surface Area</i>	m <sup>2</sup>	1318,613	1328,054	-0,72	Memenuhi
7	<i>Waterplane Area</i>	m <sup>2</sup>	929,957	936,927	-0,75	Memenuhi
8	<i>Cp</i>		0,718	0,715	0,42	Memenuhi
9	<i>Cb</i>		0,684	0,691	-1,02	Memenuhi
10	<i>Cm</i>		0,954	0,967	-1,36	Memenuhi
11	<i>Cwp</i>		0,867	0,872	-0,58	Memenuhi
12	<i>LCB from AP</i>	m	34,579	34,353	0,65	Memenuhi
13	<i>LCF from AP</i>	m	31,137	30,685	1,45	Memenuhi
14	<i>KB</i>	m	2,33	2,33	0,00	Memenuhi
15	<i>KMt</i>	m	7,115	7,074	0,58	Memenuhi
16	<i>KML</i>	m	108,422	110,325	-1,76	Memenuhi
17	<i>TPC</i>	ton/cm	9,532	9,604	-0,76	Memenuhi
18	<i>MTC</i>	ton.m	47,526	48,904	-2,90	Memenuhi

(PT. Citra Mas, 2016)

### 4.3 Analisa Gerakan Kapal Survei Seismik Geomarin IV

Hasil pemodelan yang telah dibuat selanjutnya akan digunakan untuk analisa gerakan struktur kapal pada kondisi *free floating* dengan menggunakan *software* MOSES. Analisis ini dilakukan dengan kondisi pembebanan *full load* dengan arah datang gelombang 180°. Dari hasil analisis gerakan ini akan didapatkan hasil RAO (*Response Amplitude Operator*) dengan dua derajat kebebasan yaitu *heave* dan *pitch*. Sebelumnya dibutuhkan nilai radius girasi yang dibutuhkan untuk menghitung inersia kapal, dimana nilai radius girasi didapatkan dari titik berat kapal yang bergantung pada kondisi pembebanan kapal.

#### 4.3.1 Perhitungan Titik Berat

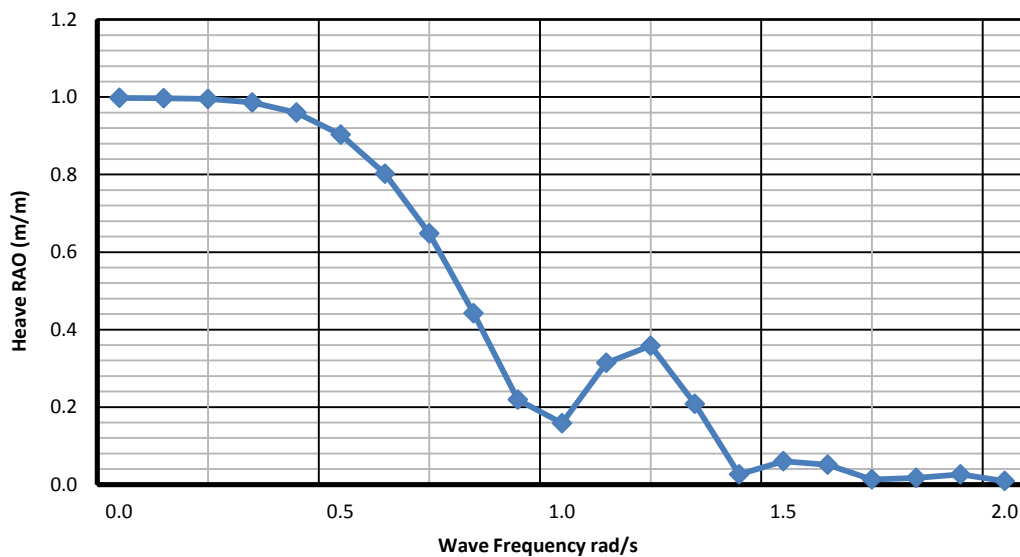
Pemodelan yang dilakukan pada Maxsurf dan MOSES hanya dilakukan pada bagian lambung kapalnya saja, maka titik berat dari kapal tersebut perlu dikoreksi dengan menambahkan tanki muatan dan jumlah muatan yang mengisi tanki tersebut berdasarkan lokasi yang telah sesuai dengan *General Arrangement*. Setelah dilakukan perhitungan maka akan didapatkan titik berat baru sesuai dengan kondisi muatan. Titik berat Kapal Survei Seismik Geomarin IV pada kondisi *full load* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Titik berat kondisi *full load*

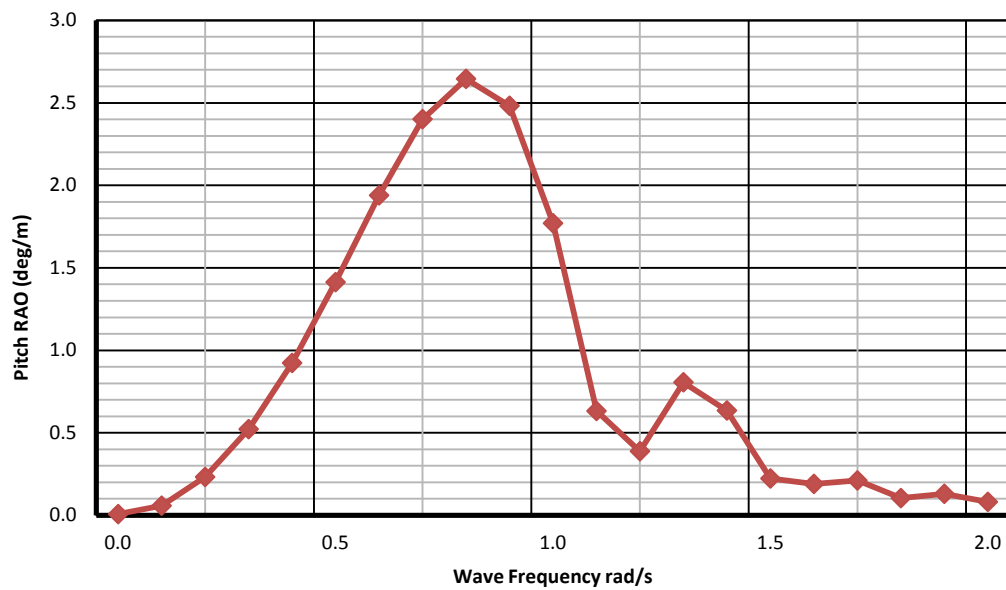
Kondisi Muatan Penuh		
LCG/AP-G (m)	TCG (m)	VCG/KG (m)
37.670	0.014	4.584

#### 4.3.2 RAO Kapal Survei Seismik Geomarin IV

Analisis RAO pada kapal survei seismik Geomarin IV dilakukan pada kondisi pembebanan *full load* yaitu pada sarat 4,2 meter. Grafik RAO pada kapal hanya ditinjau pada gerakan *heave* dan *pitch* dan arah sudut datang gelombang yang digunakan adalah  $180^\circ$ . Grafik RAO untuk gerakan *heave* dan *pitch* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 berikut.



**Gambar 4.3** Grafik RAO gerakan *heave* kondisi pembebanan *full load*



**Gambar 4.4** Grafik RAO gerakan *pitch* kondisi pembebanan *full load*

Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa *heave* mencapai nilai amplitudo maksimum sebesar 0.998 (m/m) pada frekuensi 0.001 (rad/s), dan *pitch* mencapai nilai amplitudo maksimum sebesar 2.645 (deg/m) pada frekuensi 0.8 (rad/s).

#### 4.4 Distribusi Beban

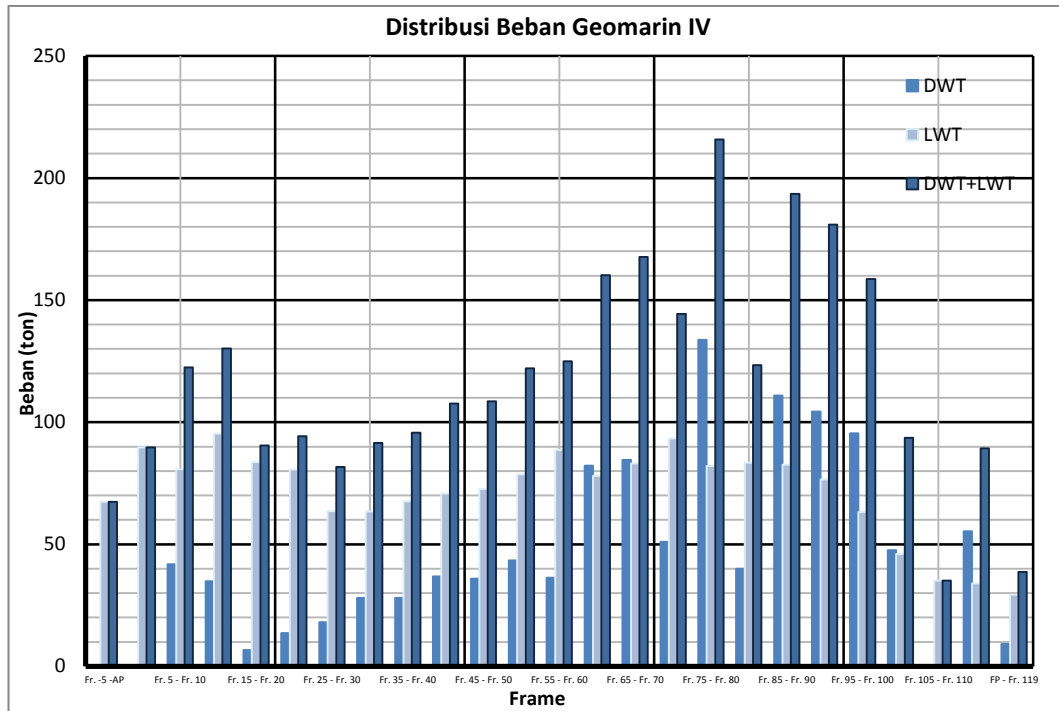
Distribusi berat ini merupakan hasil penjumlahan dari penyebaran berat kapal kosong dengan berat muatan, perbekalan, *crew*, penumpang, persediaan bahan bakar, minyak lumas, air tawar dan lain sebagainya, yaitu merupakan berat total pada saat kapal berlayar. Pemodelan dan perhitungan dilakukan dengan kondisi pembebanan DWT muatan penuh. Perhitungan distribusi beban kapal dilakukan untuk mengetahui gaya-gaya tekan ke bawah yang berpengaruh terhadap kekuatan memanjang kapal. Komponen berat LWT dan DWT pada kapal serta grafik distribusi beban pada kondisi *full load* bisa dilihat pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, dan Gambar 4.5 berikut.

**Tabel 4.3** Komponen Berat LWT

No.	Komponen	Berat (ton)
1	Hull Construction	698.475
2	Superstructure	247.568
3	Deckhouse	197.264
4	Other Construct.	17.363
5	Electrical	7.480
6	Machinery	205.040
7	Hull Outfitting	79.015
8	Survey Equipment	233.620
9	Acc. Furniture	37.699
10	Wall	12.146
11	Roof	5.089
12	Floor	48.856

**Tabel 4.4** Komponen Berat DWT

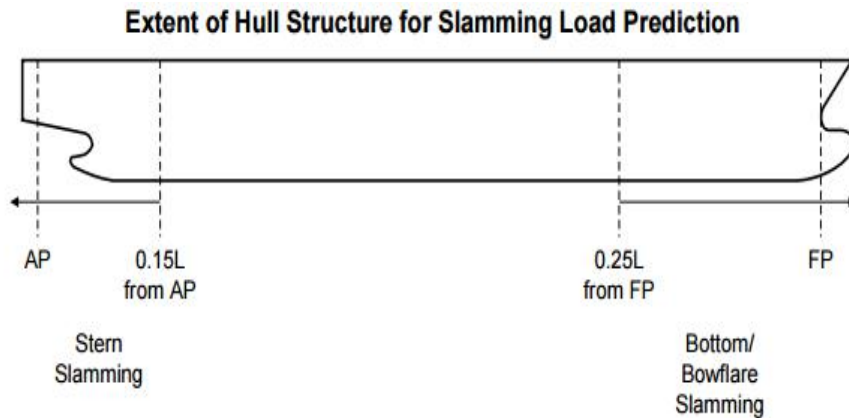
No.	Komponen	Berat (ton)
1	F.O.T No.1	201.532
2	F.O.T No.2	72.6
3	F.O.T No.3	71.898
4	F.O.T No.4	95.368
5	F.O.T No.5	76.632
6	F.O.T Daily Tank	10.106
7	F.W.T. No. 1	74.068
8	F.W.T. No. 2	228.358
9	F.W.T. No. 3	45.992
10	F.W.T. No. 4	133.122
11	Lubricating Oil Tk	2.806
12	F.O. Drain Tk	2.806
13	Bilge Tk	2.97
14	Sludge Tk	2.97
15	W.B.T. No. 1	47.2
16	W.B.T. No. 2	69.27
17	F.P.T	64.548
18	Crew & Scientist	5



**Gambar 4.5** Grafik distribusi beban kapal

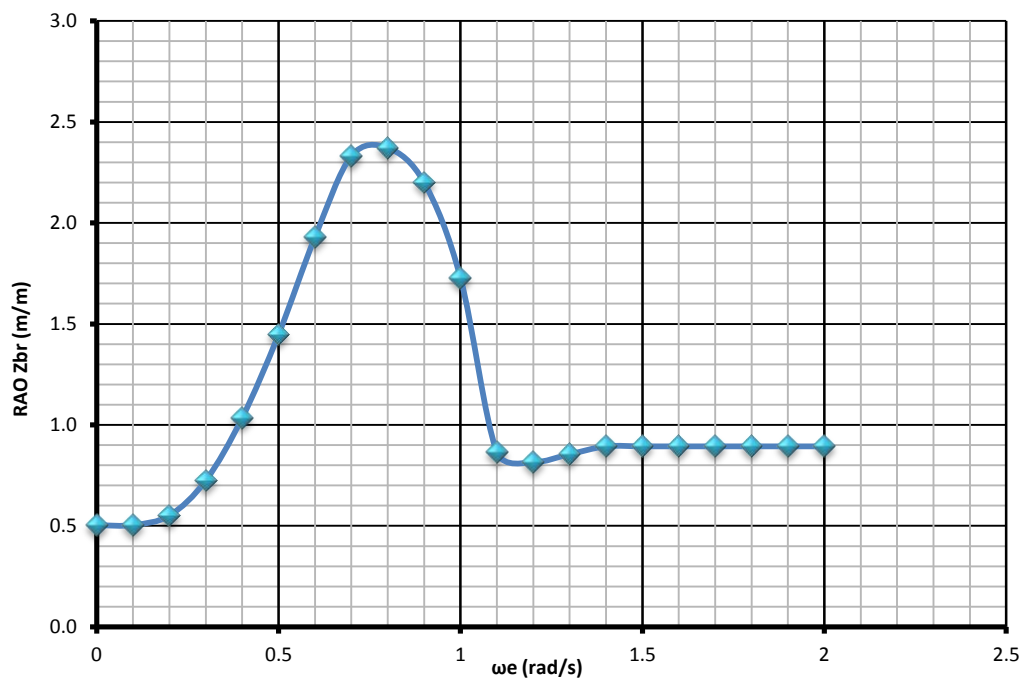
#### 4.5 Gerakan Relatif Vertikal Haluan

Setelah didapatkan RAO *heave* dan *pitch* pada masing – masing kondisi maka selanjutnya akan dilakukan analisis untuk mengetahui gerakan relatif vertikal haluan kapal survei seismik Geomarin IV pada kondisi yang sama yang digunakan pada analisis sebelumnya sehingga akan didapatkan RAO gerakan relatif vertikal haluan pada kondisi tersebut. Untuk melakukan analisis ini diperlukan titik tinjau pada daerah haluan. RAO gerakan relatif vertikal haluan yang didapatkan merupakan RAO gerakan relatif vertikal haluan pada titik tinjau haluan yang digunakan. Berdasarkan kriteria ABS daerah terjadinya *slamming* dan *greenwater* dapat diperhitungkan dari FP hingga 0.25 dari panjang *lwl* kearah belakang seperti pada Gambar 4.6 berikut.



**Gambar 4.6** Area prediksi terjadinya *slamming*  
(ABS “*Guide for Slamming Loads and Strength Assessment for Vessels*”. 2011)

Berdasarkan kriteria tersebut maka akan digunakan titik tinjau yang masih berada pada daerah prediksi terjadinya *slamming* sesuai dengan kriteria ABS. Titik tinjau yang digunakan adalah pada titik 2.5% dari LWL yang dihitung dari FP (37.605 m dari COG). Titik tinjau tersebut kemudian akan dijadikan acuan untuk mencari gerakan relatif vertikal haluan yang hasilnya nanti akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya yaitu menghitung peluang, intensitas, dan tekanan *slamming*. Dengan mengacu pada titik tinjau tersebut maka akan didapatkan RAO gerak relatif vertikal haluan. Berikut ini adalah grafik RAO gerak relatif vertikal haluan pada kondisi pembebanan *full load* dan arah sudut datang gelombang  $180^\circ$  (*headseas*) pada Gambar 4.7.

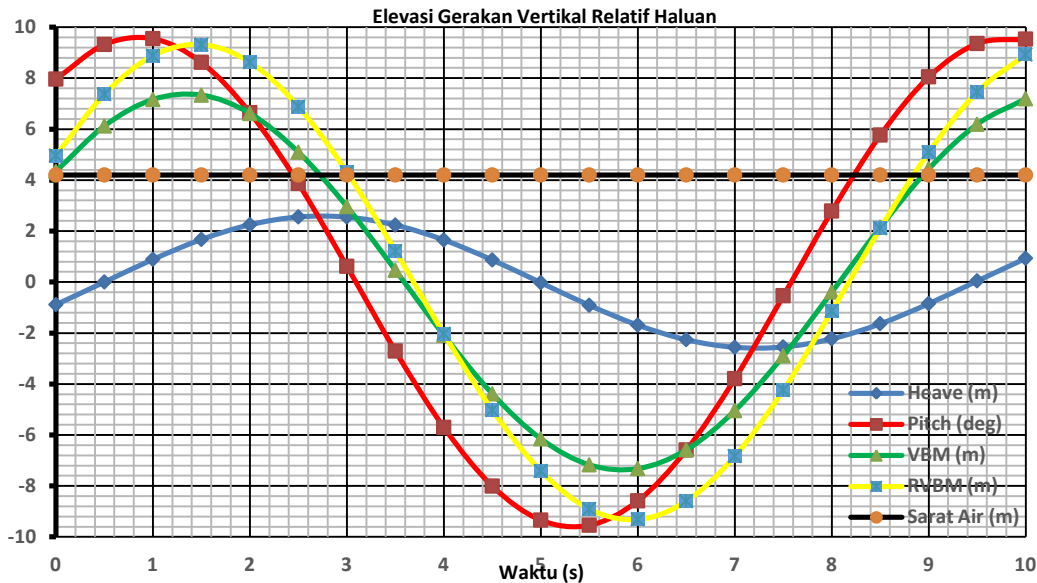


**Gambar 4.7** Grafik RAO gerak relatif vertikal haluan

Dapat dilihat pada gambar, grafik RAO gerakan relatif vertikal haluan mempunyai pola yang berlawanan dibandingkan dengan grafik RAO gerakan heave. Pada frekuensi rendah RAO-Zbr mempunyai harga rendah, dan naik bersamaan dengan kenaikan frekuensi sampai dengan puncaknya pada frekuensi alami gerakan vertikal, kemudian secara gradual menurun pada frekuensi tertentu (tinggi) dengan harga konstan sekitar 1.0 (*unity*). Berdasarkan grafik RAO gerak relatif vertikal haluan diatas dapat dilihat bahwa nilai amplitudo maksimum terjadi sebesar 2.37 (m/m) pada frekuensi 0.8 (rad/s).

#### 4.6 Simulasi Gerakan Kapal pada Gelombang Reguler

Untuk memprediksi terjadinya *slamming* maka perlu dilakukan analisa gerakan kapal pada gelombang reguler dengan satuan waktu. Elevasi pada analisa ini merupakan elevasi gerakan vertikal relatif haluan pada kondisi yang sama dengan analisa respon gerak kapal. Berdasarkan grafik elevasi gerakan vertikal relatif haluan maka bisa diprediksi terjadinya *slamming*, yaitu ketika elevasi gerakan vertikal relatif haluan lebih tinggi dibandingkan dengan sarat air. Berikut ini adalah grafik elevasi gerakan vertikal relatif haluan pada Gambar 4.8.



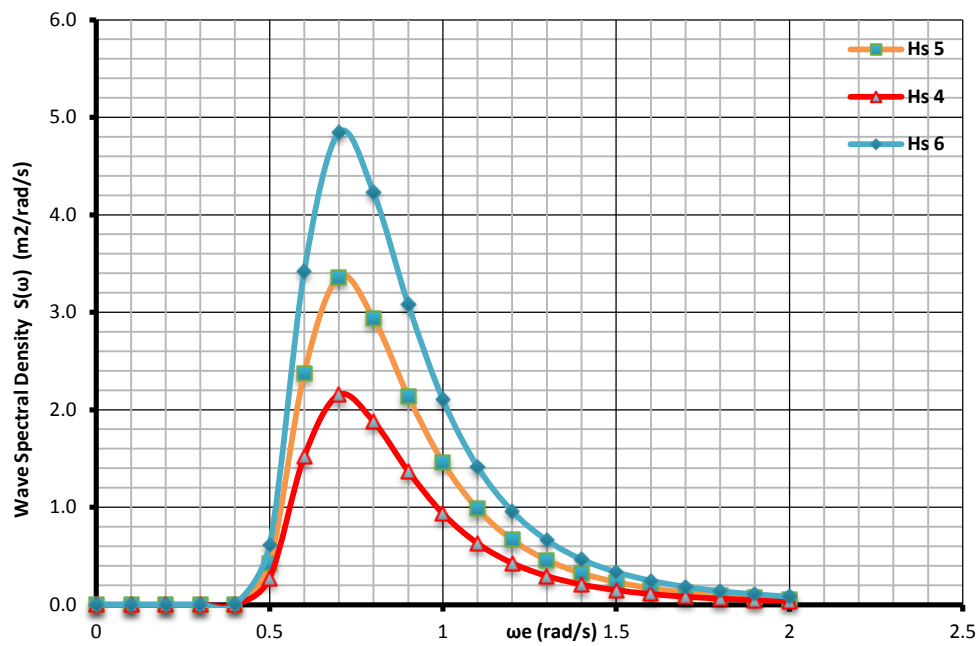
**Gambar 4.8** Grafik elevasi gerakan vertikal relatif haluan

Berdasarkan grafik elevasi, *slamming* diprediksikan akan terjadi pada detik ke 0.0 – 3.0 dan 9.0 - 10 dengan elevasi gerakan vertikal relatif haluan tertinggi sebesar 9.314 meter.

#### 4.7 Respon Spektra

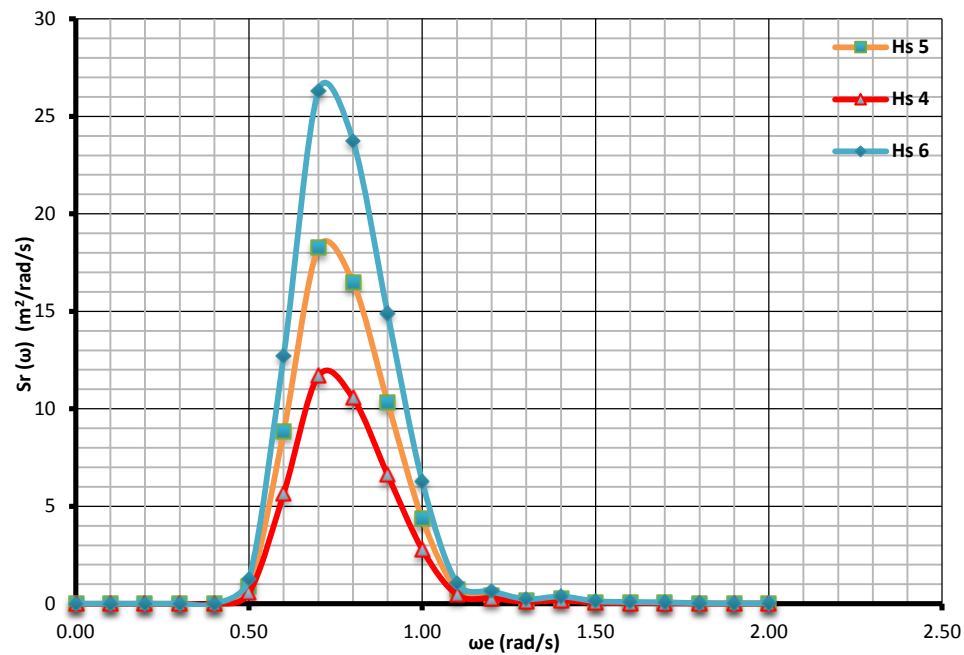
Setelah didapatkan RAO gerak relatif vertikal haluan pada gelombang regular maka selanjutnya RAO gerak relatif vertikal akan dikombinasikan dengan spektra gelombang. Analisis ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik respon gerakan struktur pada gelombang acak. Respon struktur pada gelombang acak dapat diperoleh dengan mengalikan harga kuadrat dari RAO tiap gerakan dengan spektra gelombang. Spektra gelombang yang sesuai dengan perairan Indonesia yang termasuk dalam kategori perairan terbuka adalah spektra gelombang JONSWAP. Spektra gelombang JONSWAP diperoleh berdasarkan variasi tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) 4 m, 5 m, dan 6 m seperti terlihat pada Gambar 4.9 berikut.





**Gambar 4.9** Spektrum gelombang JONSWAP

Respon spektra diperoleh dari hasil perkalian kuadrat RAO gerak relatif vertikal haluan dengan spektra gelombang, sehingga diperoleh hasil spektrum respon berupa varian spektra respon gerak relatif vertikal haluan, varian spektra respon kecepatan relatif vertikal haluan, dan varian respon percepatan relatif vertikal haluan. Hasil tersebut selanjutnya akan digunakan dalam perhitungan *slamming*. Pada Gambar 4.10 berikut merupakan respon spektra pada kondisi pembebanan *full load*.



**Gambar 4.10** Respon spektra kondisi pembebanan *full load*

Berdasarkan gambar dapat diketahui bahwa nilai respon spektra tertinggi pada kondisi pembebanan *full load* berada pada tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) 6m dan frekuensi 0.7 rad/s yaitu sebesar  $26.3 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ .

#### 4.8 Perhitungan Slamming

Selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai peluang, intensitas, dan tekanan *slamming* pada kondisi pembebanan *full load*. Nilai tekanan yang didapat akan dijadikan tambahan beban untuk perhitungan *shear force* dan *bending moment* selanjutnya.

##### 4.8.1 Peluang Intensitas dan Tekanan Slamming

Dalam perhitungan *slamming* digunakan harga kecepatan ambang batas *slamming* ( $V_{th}$ ) untuk didapatkan besarnya peluang, intensitas dan tekanan *slamming*. Harga kecepatan ambang batas yang digunakan ialah sesuai dengan ketentuan Tasai. Dalam ketentuan Tasai menyarankan bahwa harga  $V_{th} = 0.5$  m/det sebagai harga rata-rata bila bangunan laut melaju dengan kecepatan sekitar  $Fn = 0.10$ . Bila kecepatan rendah ( $Fn = 0.05$ ) dapat diambil  $V_{th} = 0.775$  m/det, atau bila kecepatan lebih tinggi ( $Fn = 0.145$ ) dapat diambil  $V_{th} = 0.20$  m/det dan

dalam analisis ini harga kecepatan ambang batas yang digunakan ialah  $V_{th} = 0.5$  m/det. Pehitungan *slamming* dilakukan pada kondisi yang sama seperti pada analisis respon gerak kapal yaitu kondisi pembebanan *full load*. Dengan demikian maka akan diperoleh hasil peluang, intensitas, dan tekanan pada kondisi tersebut. Hasil perhitungan peluang, intensitas dan tekanan *slamming* dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

**Tabel 4.5** Hasil perhitungan *slamming* kondisi *full load*

Titik Tinjau 2,5% dari panjang <i>lw</i>					
Tabel Variasi Hs					
Sarat air di haluan (Tb) = 4,2					
Heading	Hs	Pr(slam)	N slam (detik)	N slam ( 1 jam)	Ps (kpa)
180	4	0.0098858	0.0012496	4.4987286	16.9099282
	5	0.0520964	0.0065854	23.7074747	51.7366557
	6	0.1344293	0.0169929	61.1746021	95.2925014

Untuk peluang terbesar terjadinya *slamming* terjadi pada tinggi gelombang signifikan (Hs) 6 meter yaitu sebesar 0.13 atau 13 %. Intensitas terjadinya *slamming* terbesar berada pada tinggi gelombang signifikan (Hs) 6 meter yaitu terjadi sebanyak 61 kali setiap jamnya. Tekanan *slamming* terbesar terjadi pada pada tinggi gelombang signifikan (Hs) 6 meter yaitu sebesar 95.29 kPa.

#### 4.8.2 Beban Tambahan Slamming

Setelah dilakukan perhitungan *slamming* dihasilkan nilai tekanan terbesar pada tinggi gelombang signifikan (Hs) 6 meter sebesar 95.29 kPa. Untuk mendapatkan beban *slamming* yang akan ditambahkan untuk perhitungan *shear force* dan *bending moment* selanjutnya, maka tekanan tersebut harus dikalikan dengan luas daerah haluan pada titik tinjau yang masih berada pada daerah prediksi terjadinya *slamming* yaitu 37.605 m dari COG.

$$P_{\text{slamming}} = 95.292 \text{ kPa}$$

$$= 95.292 \text{ N/m}^2$$

$$A_{\text{haluan}} = 15.29 \text{ m}^2 \quad (\text{Luas kulit kapal pada titik tinjau haluan})$$

$$P \times A = 1457014.68 \text{ N}$$

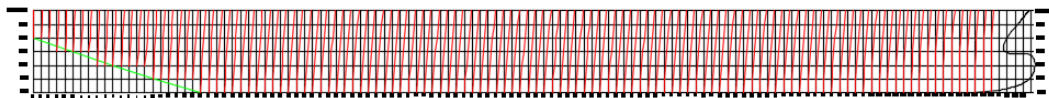
$$= 1.457 \text{ kN}$$

$$= 148.57 \text{ Ton}$$

Setelah mengetahui bahwa luas daerah haluan pada titik tinjau yang telah ditentukan adalah  $15.29 \text{ m}^2$ . Maka dari itu nilai beban slamming yang didapat adalah 148.57 ton.

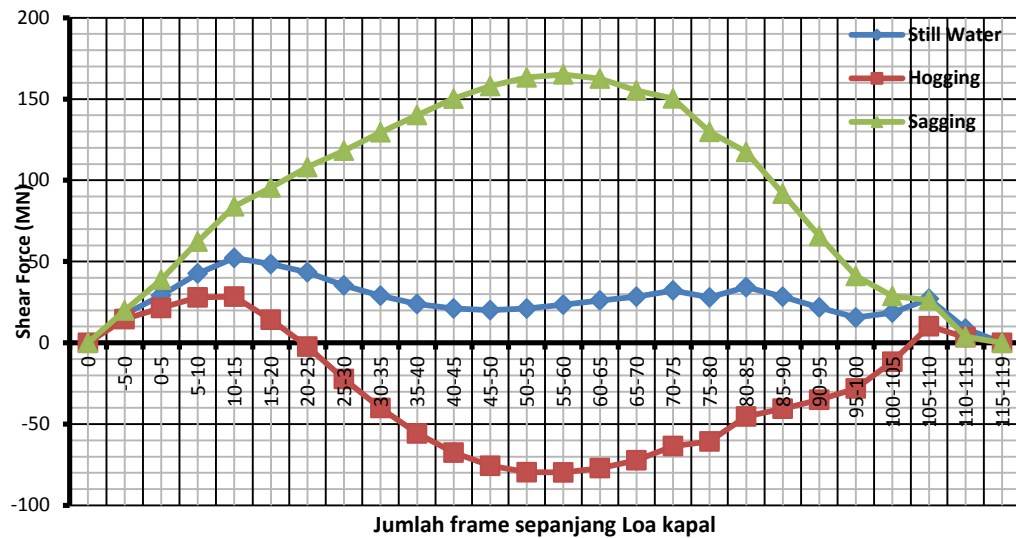
#### 4.9 Analisa Gaya Geser dan Momen Lengkung (*Shear Force & Bending Moment*) pada Kondisi *Even Keel* di Gelombang Reguler

Dalam perhitungan *shear force* dan *bending moment*, luasan kapal yang digunakan adalah luasan di bawah garis air. Oleh karena itu digunakan grafik bonjean untuk mengetahuinya. Pembebanan pada kondisi *hogging* dan *sagging* menggunakan tinggi gelombang 6 m untuk mewakili tinggi gelombang pada gelombang reguler. Berikut adalah grafik bonjean kapal pada Gambar 4.11.



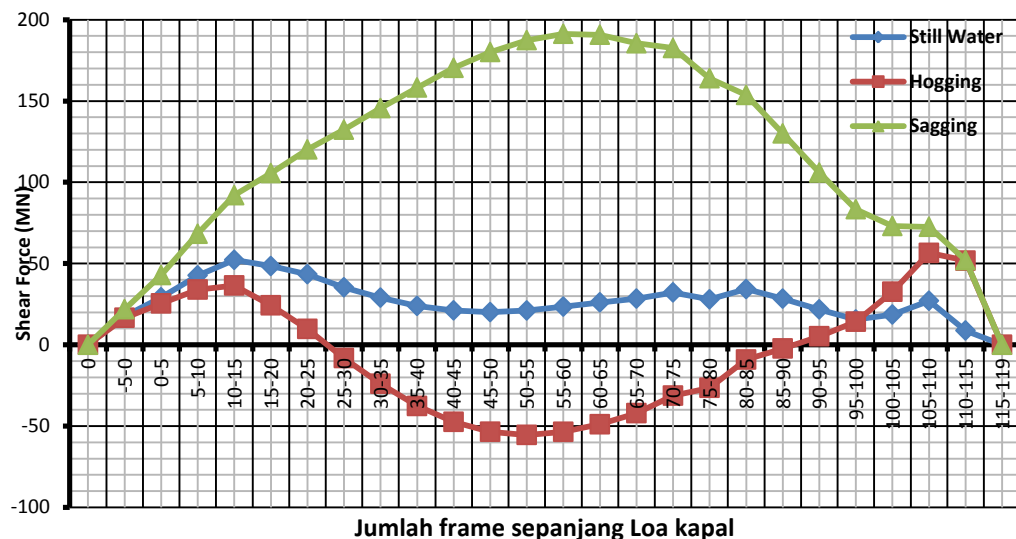
**Gambar 4.11** Kurva bonjean kapal survei seismik Geomarin IV

Perhitungan kekuatan memanjang kapal dititik beratkan pada pengaruh gelombang reguler dengan kondisi batas permodelan dan juga tambahan beban *slamming* yang telah dilakukan pada perhitungan sebelumnya. Hasil yang diperoleh dari perhitungan matematis adalah sebaran *shear force* dan *bending moment* pada setiap *frame* kapal baik pada saat sebelum dan setelah ditambah beban *slamming* yang bisa dilihat pada Gambar 4.12 - 4.15 berikut.



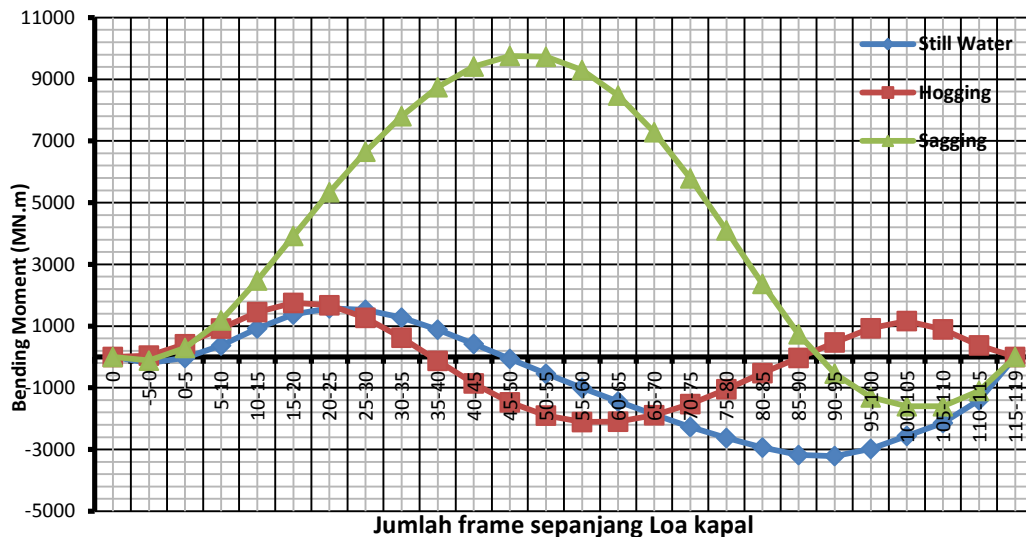
**Gambar 4.12** Grafik *shear force* pada gelombang reguler kondisi air tenang, *hogging*, dan *sagging* sebelum ditambah beban *slamming*

Dari grafik *shear force* di atas dapat dilihat nilai gaya geser tertinggi sebelum ditambah beban *slamming* ketika kondisi air tenang adalah 52.234 MN, kondisi *hogging* 79.730 MN, dan pada kondisi *sagging* dengan nilai tertinggi yaitu 165.151 MN.



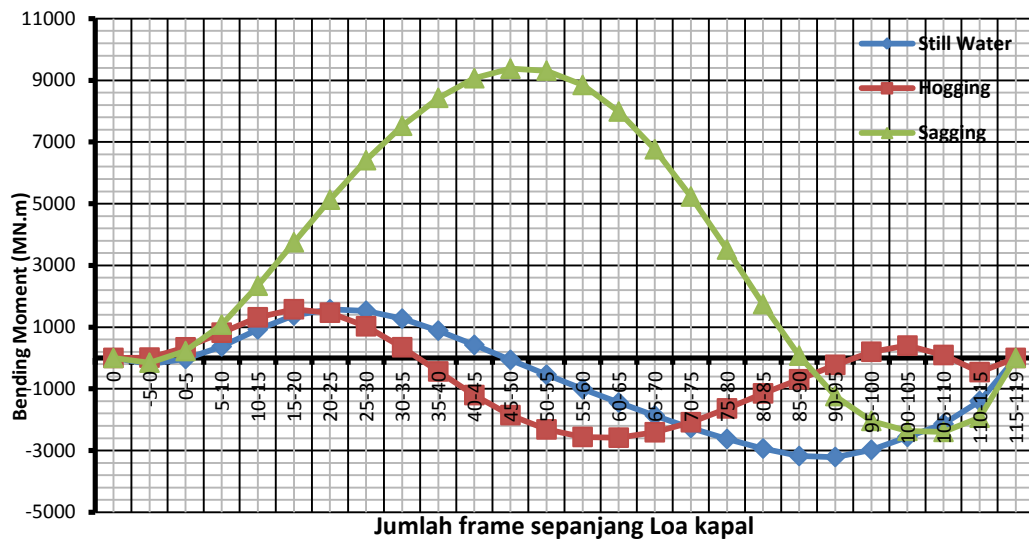
**Gambar 4.13** Grafik *shear force* pada gelombang reguler kondisi air tenang, *hogging*, dan *sagging* setelah ditambah beban *slamming*

Dari grafik *shear force* di atas dapat dilihat nilai gaya geser tertinggi setelah ditambah beban slamming ketika kondisi air tenang adalah 52.234 MN, kondisi *hogging* 56.494 MN, dan pada kondisi *sagging* dengan nilai tertinggi yaitu 191.317 MN.



**Gambar 4.14** Grafik *bending moment* pada gelombang reguler kondisi air tenang, *hogging*, dan *sagging* sebelum ditambah beban *slamming*

Dari grafik *bending moment* di atas dapat dilihat nilai momen lengkung tertinggi sebelum ditambah beban slamming ketika kondisi air tenang adalah 3211.99 MNm, kondisi *hogging* 2109.17 MNm, dan pada kondisi *sagging* dengan nilai tertinggi yaitu 9758.576 MNm.



**Gambar 4.15** Grafik *bending moment* pada gelombang reguler kondisi air tenang, *hogging*, dan *sagging* setelah ditambah beban *slamming*

Dari grafik *bending moment* di atas dapat dilihat nilai momen lengkung tertinggi setelah ditambah beban *slamming* ketika kondisi air tenang adalah 3211.99 MNm, kondisi *hogging* 2584.51 MNm, dan pada kondisi *sagging* dengan nilai tertinggi yaitu 9375.99 MNm.

Nilai *Shear Force* terbesar terjadi pada saat *sagging* setelah ditambah beban *slamming* dengan nilai 191.317 MN, dan untuk *Bending Moment* mendapatkan nilai terbesar pada saat *sagging* sebelum ditambah beban *slamming* dengan nilai 9758.576 MNm.

#### 4.10 Perhitungan Section Modulus

Selanjutnya setelah diketahui *shear force* dan *bending moment* perlu dicek apakah *stress* yang diterima masih memenuhi nilai *allowable stress* atau tidak. Nilai *allowable stress* yang menjadi acuan diperoleh dari persyaratan yang diberikan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Berdasarkan BKI perhitungan *allowable stress* diberikan sebagai berikut.

$$\sigma_p = \text{permissible longitudinal bending stress (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_p = c_s \cdot \sigma_{p0}$$

Dimana,

$$\sigma_{p0} = 18.5 \cdot \frac{\sqrt{L}}{k}$$

$$c_s = 1$$

Sehingga didapatkan nilai *allowable stress* untuk struktur kapal survei seismik *Geomarin IV* sebagai berikut.

**Tabel 4.6** Perhitungan *Allowable Stress*

Permissible Longitudinal Bending Stress			
$\sigma_{p0}$	=	$18.5 \cdot \frac{\sqrt{L}}{k}$	for L<90m
	=	95904	
$c_s$	=	1	for 0.3 < x/L < 0.7
$\sigma_p$	=	95904	N/mm <sup>2</sup>
	=	95904000000	N/m <sup>2</sup>

Setelah dilakukan pengecekan ternyata *stress* yang diterima struktur masih di bawah *allowable stress* sehingga dinyatakan aman. Pengecekan *stress* dilakukan pada tiga kondisi yaitu pada kondisi *Stillwater*, *hogging*, dan *sagging*. Tabel 4.7 berikut ini menunjukkan hasil pengecekan *stress* pada tiga kondisi tersebut.

**Tabel 4.7** Pengecekan *stress* pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* Kondisi

STRESS CHECK (FULL LOAD)			
STILL WATER			
$\sigma_{\text{stillwaterbottom}}$	146.652		Allow
$\sigma_{\text{stillwaterdeck}}$	1179.126		Allow
HOGGING			
	HOG-SLAMMING	HOG+SLAMMING	
$\sigma_{\text{hoggingbottom}}$	96.300	118.003	Allow
$\sigma_{\text{hoggingdeck}}$	774.279	948.780	Allow
SAGGING			
	SAG-SLAMMING	SAG+SLAMMING	
$\sigma_{\text{saggingbottom}}$	445.556	428.088	Allow
$\sigma_{\text{saggingdeck}}$	3582.390	3441.943	Allow



Selanjutnya pengecekan dilakukan untuk modulus dan inersia kapal. Keduanya menggunakan standard yang telah ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia.

$$W_{min} = k \cdot c_0 \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^6 [m^3]$$

Dari persamaan *modulus section* minimum di atas ternyata nilai modulus di *deck* maupun di lambung kapal ada di atas nilai minimumnya yaitu sebesar  $0.773 \text{ m}^3$  sehingga dinyatakan aman.

**Tabel 4.8** Pengecekan modulus pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

Modulus Check		
$W_{deck}$	2.724	allow
$W_{bottom}$	21.902	allow

Sedangkan nilai inersia struktur juga dinyatakan aman dikarenakan ada di atas nilai minimum inersianya sebesar  $1.669 \text{ m}^4$ .

$$I_y = 3 \cdot 10^{-2} \cdot W \cdot \frac{L}{k} [m^4]$$

**Tabel 4.9** Pengecekan Inersia pada Kapal Survei Seismik *Geomarin IV*

Inertia Check		
$I_{na}$	16.317	allow

#### 4.11 Analisa Gaya Geser dan Momen Lengkung (*Shear Force & Bending Moment*) dengan Metode Quasi Statis akibat Gerak *Heave* dan *Pitch*

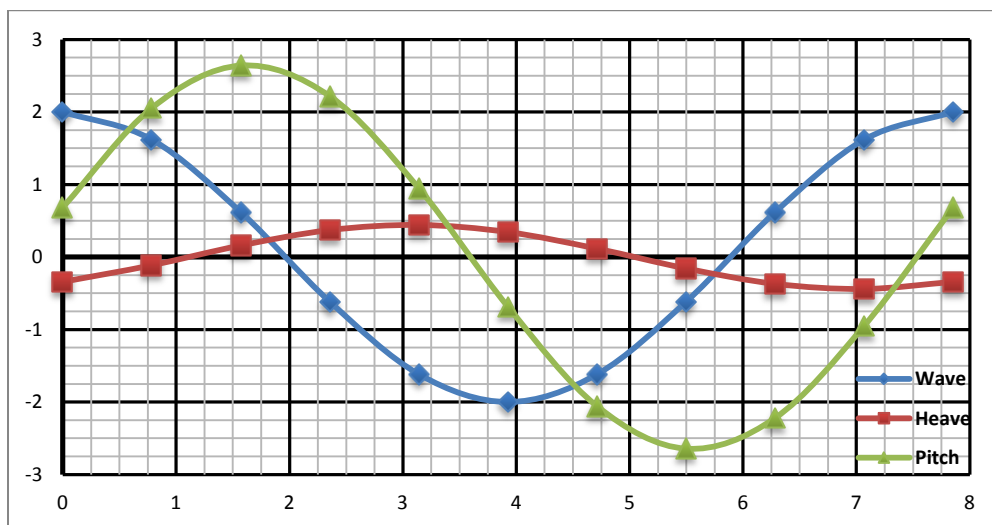
Metode quasi-statis adalah metode perhitungan dengan pendekatan statis terhadap perilaku objek yang dinamis. Pada tugas akhir ini gerak Kapal Survei Seismik Geomarin IV ditinjau terhadap setiap siklus gelombang yang terjadi. Untuk perhitungan respon struktur dengan pendekatan metode ini, perhitungan dilakukan pada saat kapal bergerak kopel *heave-pitch* dengan tinggi gelombang 6m dan menggunakan variasi sudut fase gelombang. Pemilihan tinggi gelombang dipilih berdasarkan tinggi gelombang saat terjadinya slamming, karena beban slamming akan ditambahkan ke dalam perhitungan untuk mengetahui nilai respon struktur.

Perhitungan *shear force* dan *bending moment* dengan metode quasi-statis ini dilakukan pada 3 frekuensi RAO yaitu 0.3 rad/s; 0.5 rad/s; 0.8 rad/s. Pada masing-masing frekuensi tersebut dilakukan analisis setiap periode per sepuluh pada setiap frekuensi. Berikut adalah contoh perhitungan pola gerakan frekuensi 0.8 rad/s satu siklus gerakan dengan metode quasi-statis pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Perhitungan pola gerakan frekuensi 0.8 rad/s satu siklus gerakan

t (s)	Zw (m)	Zz (m)	Zθ (m)
	$(Zw)a \cos \omega t$	$(Zz)a \cos (\omega t + \epsilon_z)$	$(Z\theta)a \cos (\omega t + \epsilon_\theta)$
0.000	2.0000	-0.3434	0.6848
0.785	1.6180	-0.1143	2.0557
1.571	0.6180	0.1585	2.6414
2.356	-0.6180	0.3707	2.2181
3.142	-1.6180	0.4414	0.9476
3.927	-2.0000	0.3434	-0.6848
4.712	-1.6180	0.1143	-2.0557
5.498	-0.6180	-0.1585	-2.6414
6.283	0.6181	-0.3707	-2.2181
7.069	1.6180	-0.4414	-0.9476
7.854	2.0000	-0.3434	0.6849

Dari tabel diatas dapat dibuat hubungan antara variasi periode sebagai absis dan persamaan gerak gelombang, *heave*, dan *pitch* sebagai ordinatnya seperti pada Gambar 4.16 berikut.



**Gambar 4.16** Hubungan variasi periode dengan nilai persamaan gelombang, *heave*, dan *pitch*

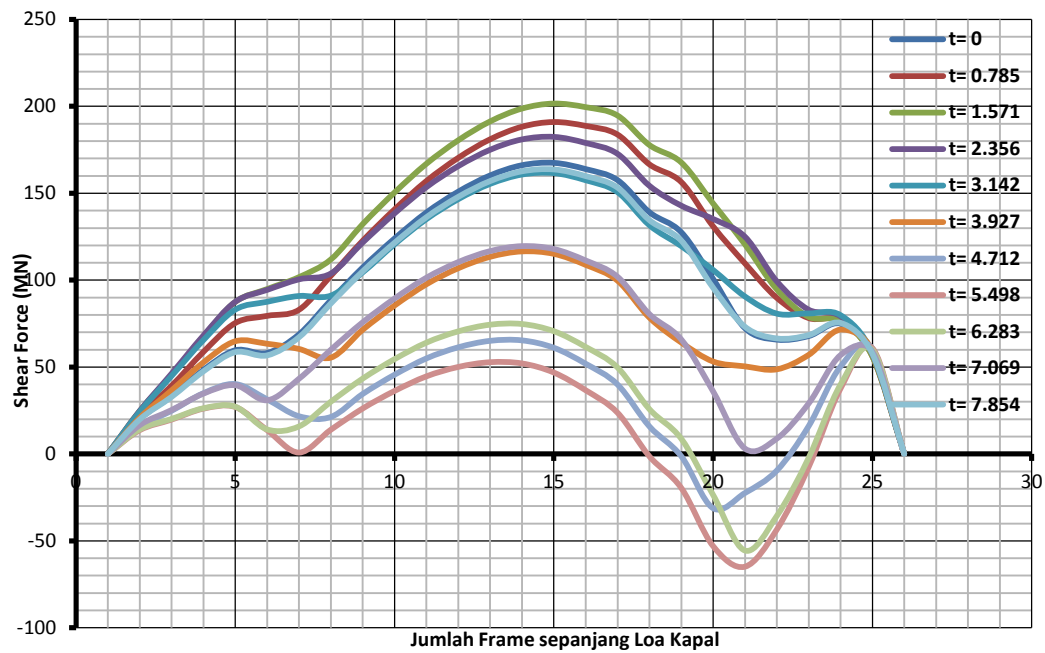
Nilai persamaan gelombang, *heave*, dan *pitch* pada tiap variasi periode dari Tabel 4.10 digambar pada kurva bonjean kapal yang sudah dibuat sebelumnya untuk mendapatkan luasan pada tiap *frame* seperti pada Gambar 4.17 berikut.



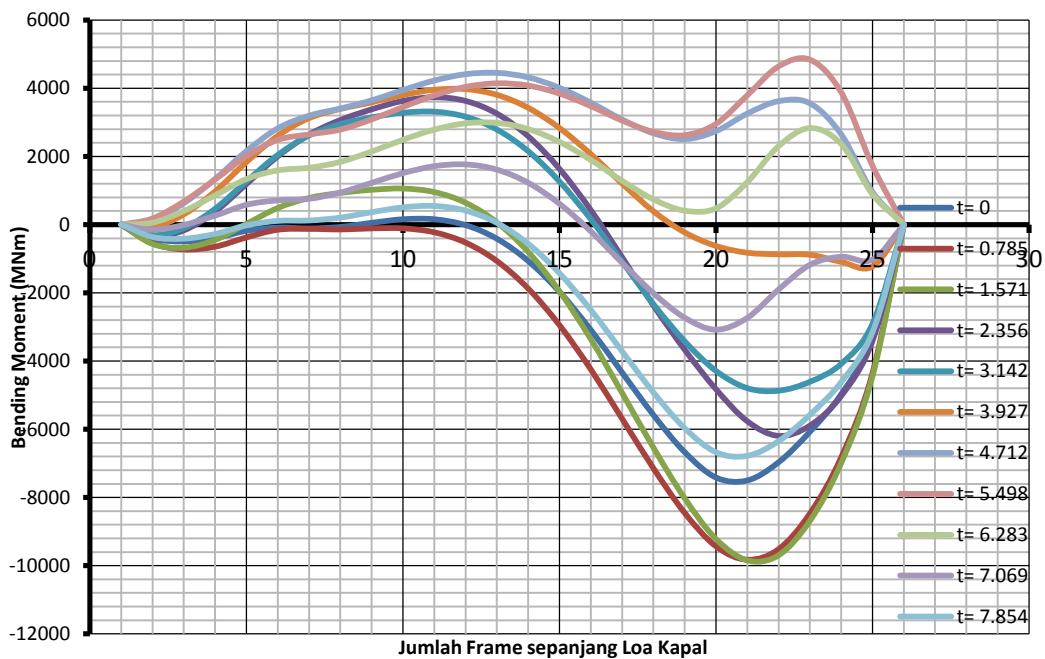
**Gambar 4.17** Pergerakan kapal dalam satu siklus akibat pengaruh *heave* dan *pitch* pada frekuensi 0.8 rad/s

Perhitungan pola gerakan pada frekuensi yang lain dapat dihitung dengan metode dan perhitungan yang sama seperti pada contoh perhitungan di atas. Dimana  $Z_w$  = gerakan gelombang,  $Z_z$  = gerakan *heave*,  $Z_\theta$  = gerakan *pitch*. Dengan asumsi,  $Z_z$  bernilai positif menandakan kapal bergerak ke atas,  $Z_z$  bernilai negatif kapal bergerak ke bawah, sedangkan  $Z_\theta$  bernilai positif menandakan haluan terangkat, dan  $Z_\theta$  bernilai negatif haluan terbenam.

Berikut adalah grafik distribusi hasil perhitungan *shear force* dan *bending moment* dengan metode quasi-statis pada frekuensi 0.8 rad/s pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19.

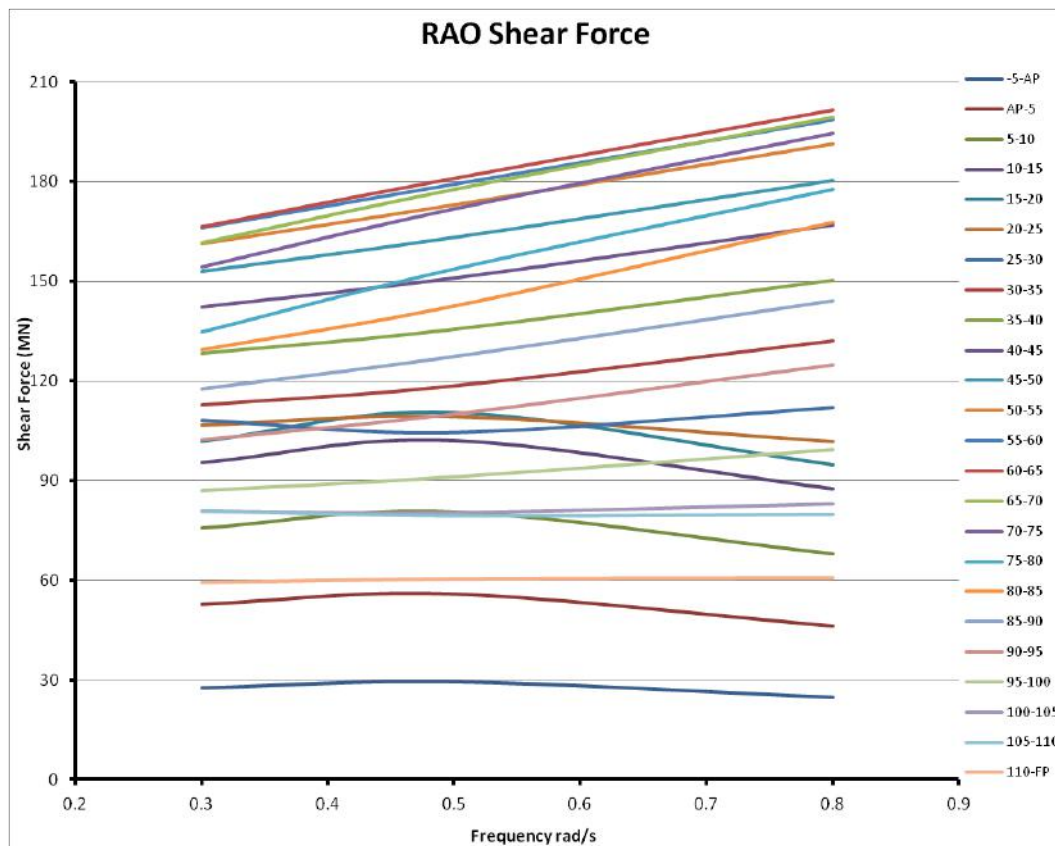


**Gambar 4.18** Grafik *shear force* quasi-statis frekuensi 0.8rad/s

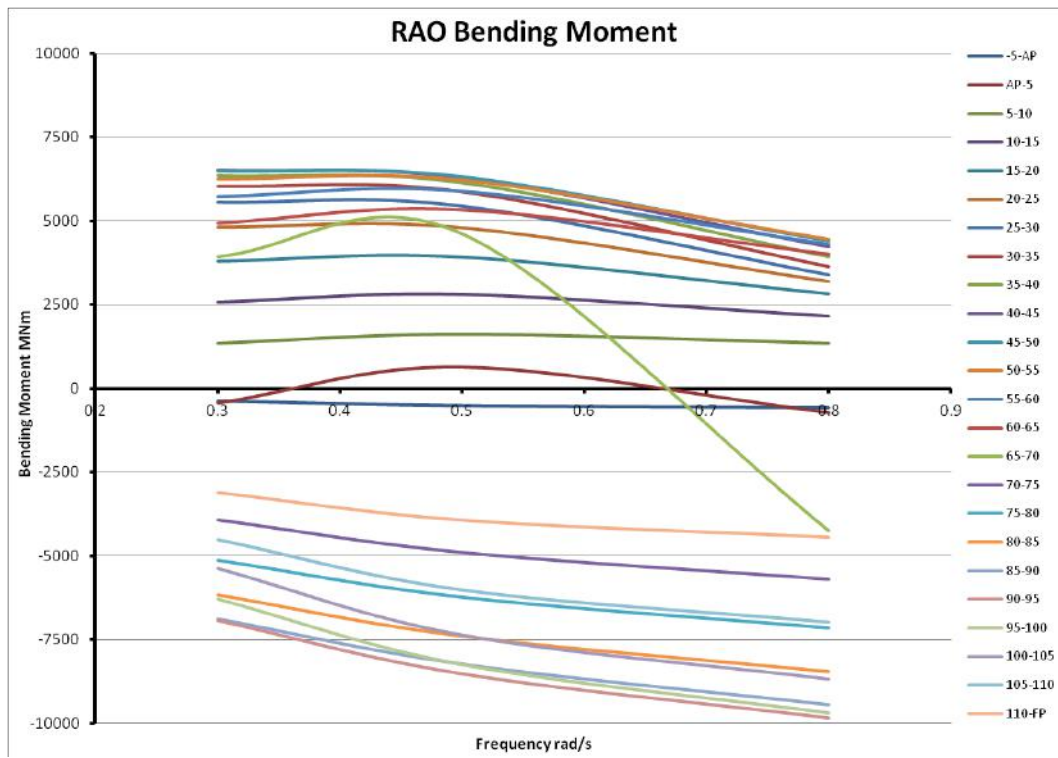


**Gambar 4.19** Grafik *bending moment* quasi-statis frekuensi 0.8 rad/s

Gambar diatas menunjukkan pola *shear force* dengan variasi periode pada frekuensi 0.8 rad/s dimana *shear force* terbesar terdapat pada periode 1.571 s senilai 201.534 MN, sedangkan *bending moment* terbesar terdapat pada periode 1.571 s senilai 9841.48 MN.m. Selanjutnya dari data tersebut maka dilakukan plot nilai *shear force* dan *bending moment* maksimal pada tiap – tiap frekuensi sehingga didapatkan RAO *shear force* dan *bending moment*.



**Gambar 4.20** Grafik RAO *Shear Force* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Full Load*



**Gambar 4.21** Grafik RAO *Shear Force* Kapal Survei Seismik *Geomarin IV* pada Kondisi *Full Load*

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari analisis yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan untuk Tugas Akhir ini antara lain:

1. RAO Kapal Survei Seismik Geomarin IV dengan kondisi pembebanan *full load* dan arah datang gelombang  $180^\circ$  untuk gerak *heave* mencapai nilai amplitudo maksimum sebesar 0.998 (m/m) pada frekuensi 0.001 (rad/s), dan gerak *pitch* mencapai nilai amplitudo maksimum sebesar 2.645 (deg/m) pada frekuensi 0.8 (rad/s).
2. Hasil perhitungan *slamming* untuk peluang terbesar terjadi pada tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) 6 meter yaitu sebesar 0.13 atau 13 %. Intensitas terjadinya *slamming* terbesar berada pada tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) 6 meter yaitu terjadi sebanyak 61 kali setiap jamnya. Tekanan *slamming* terbesar terjadi pada pada tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) 6 meter yaitu sebesar 95.29 kPa. Dari nilai tekanan tersebut lalu didapat nilai beban *slamming* sebesar 148.57 Ton
3. RAO *shear force* dan *bending moment* untuk Kapal Survei Seismik Geomarin IV mendapatkan nilai terbesar pada frekuensi 0.8 rad/s dengan nilai *shear force* sebesar 201.534 MN dan *bending moment* sebesar 9841.48 MN.m.

#### **5.2 Saran**

Berikut ini adalah saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis dalam Tugas Akhir ini. Diharapkan saran berikut dapat digunakan sebagai acuan studi mengenai Kapal Survei Seismik Geomarin IV.

1. *Greenwater* dapat dijadikan parameter tambahan dalam analisis kekuatan memanjang kapal khususnya pada Kapal Survei Seismik Geomarin IV.
2. Penambahan variasi sudut arah datang gelombang seperti  $90^\circ$  dan  $0^\circ$ .

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, Imran. 2016. *Analisa Kekuatan Struktur Haluan Kapal Survei Seismik Geomarin IV Terhadap Beban Slamming dan Greenwater*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, FTK, ITS, Surabaya.

Ariyanto, S., Djatmiko, E.B., Murtedjo, M., dan Yuda, I.D.G.A.S. 2014. A Study of The Longitudinal Hull Structural Responses on a 35,000 Ton Class Drillship due to Wave Load by the Quasi-Static Approach. *Proc. The 9<sup>th</sup> International Conference on Marine Technology, MARTEC 2014*. Surabaya. Indonesia.

Bhattacharyya, R. 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. John Wiley & Sons Inc. New York. USA.

BKI. 2014. *Volume II Rules For Hull*. Biro Klasifikasi Indonesia. Indonesia.

Buslov, V.M. dan Karsan, D.I. 1985, 1986. "Deepwater Platform Designs: An Illustrated Review (3 Parts)". *Ocean Industry*. Oct. 1985 (Part I) pp. 47-52, Dec. 1985 (Part 2) pp. 51-55, Feb. (1986) pp. 53-62.

Chakrabarti, S. K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. Computational Mechanics Publications Southampton Boston. USA.

Djatmiko, E.B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. ITS Press. Surabaya. Indonesia.

Djatmiko, E.B. 1995. Identification of SWATH Ship Global Structural Responses Utilizing a Physical Model. *Research Project Report*. LPPM-ITS. Surabaya.

Pahlevi, R.M. 2014. *Analisis Respon Struktur Memanjang Akibat Beban Gelombang pada Self-Propelled Coal Barge 8000 DWT dengan Pendekatan Quasi-statis*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan, FTK, ITS, Surabaya.

Rawson, K.J. dan Tupper, E.C. 2001. *Basic Ship Theory Vol. 1*, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.

Yuda, I.D.G.A.S., Djatmiko, E.B., dan Wardhana, W. 2013. Evaluation on the Motion and Operability Aspects in the Design of 35,000 ton Displacement Drilship. *Proc. of Seminar on the Theory and Application in Marine Technology*, SENTA 2013. Surabaya. Indonesia.

## Distribusi Beban LWT

Post	Hull Construction	Superstructure	Deckhouse	Other Construct.	Electrical	Machinery	Hull Outfitting	Survey Equipment	Acc. Furniture	Wall	Roof	Floor	
Fr. -5 - AP	19.756	10.809	6.680	2.526	0.299	2.587	6.274	18.397	0.068				67.397
AP - Fr. 5	19.764	9.209	6.066	0.421	0.299	8.802	6.488	38.659					89.708
Fr. 5 - Fr. 10	20.595	7.755	5.756	0.936	0.299	5.769	1.592	38.009					80.711
Fr. 10 - Fr. 15	27.921	9.217	6.122	0.713	0.299	4.769	9.192	35.828	1.300				95.360
Fr. 15 - Fr. 20	23.382	10.885	5.746	0.275	0.299	8.235	0.524	32.939	1.063	0.126	0.018	0.170	83.663
Fr. 20 - Fr. 25	26.029	10.707	5.969	0.000	0.299	13.435	0.524	22.995	0.279	0.126	0.027	0.256	80.645
Fr. 25 - Fr. 30	30.213	6.694	5.747	0.000	0.299	7.872	0.524	12.199					63.548
Fr. 30 - Fr. 35	22.594	12.473	6.667	0.000	0.299	15.165	0.524	5.763	0.017				63.502
Fr. 35 - Fr. 40	29.347	9.767	15.508	0.000	0.299	10.136	0.524	1.696	0.352				67.628
Fr. 40 - Fr. 45	34.083	12.311	8.030	0.000	0.299	12.244	0.824	1.696	0.498	0.105	0.063	0.602	70.754
Fr. 45 - Fr. 50	30.515	9.854	0.000	0.000	0.299	27.144	1.274	1.696	0.553	0.131	0.105	1.004	72.575
Fr. 50 - Fr. 55	29.437	9.382	4.923	0.000	0.299	27.919	2.582	1.696	0.740	0.237	0.139	1.333	78.687
Fr. 55 - Fr. 60	31.761	7.891	9.548	0.000	0.299	23.769	8.864	1.696	1.335	0.546	0.280	2.691	88.680
Fr. 60 - Fr. 65	39.335	8.096	10.261	0.000	0.299	4.269	6.364	1.696	2.725	0.983	0.397	3.590	78.014
Fr. 65 - Fr. 70	42.537	12.599	12.945	0.000	0.299	2.269	3.300	1.696	3.263	0.905	0.353	3.011	83.177
Fr. 70 - Fr. 75	45.655	12.556	14.166	5.311	0.299	2.269	1.274	1.696	3.260	1.353	0.566	4.931	93.336
Fr. 75 - Fr. 80	35.427	9.675	14.943	5.387	0.299	2.269	1.274	1.696	2.986	1.298	0.600	6.225	82.079
Fr. 80 - Fr. 85	32.025	9.455	17.262	1.794	0.299	9.519	0.524	1.696	2.654	1.787	0.627	5.728	83.369
Fr. 85 - Fr. 90	38.398	11.714	15.418	0.000	0.299	2.269	0.524	1.696	3.716	1.662	0.704	6.139	82.539
Fr. 90 - Fr. 95	32.653	10.766	12.633	0.000	0.299	2.269	0.524	1.696	7.529	1.371	0.626	6.160	76.526
Fr. 95 - Fr. 100	31.058	9.797	7.341	0.000	0.299	2.269	0.524	1.696	4.897	1.088	0.429	3.856	63.253
Fr. 100 - Fr. 105	22.438	12.927	1.382	0.000	0.299	2.769	0.524	1.696	0.391	0.271	0.157	3.161	46.013
Fr. 105 - Fr. 110	14.487	10.885	1.325	0.000	0.299	3.769	2.399	1.696	0.075	0.157			35.091
Fr. 110 - FP	12.187	6.974	1.224	0.000	0.299	1.903	9.649	1.696					33.932
FP - Fr. 119	6.878	5.170	1.606	0.000	0.299	1.356	12.424	1.696					29.428
<b>Total</b>	698.475	247.568	197.264	17.363	7.480	205.040	79.015	233.620	37.699	12.146	5.089	48.856	1789.614



## Perhitungan Gerak Relatif Vertikal Haluan

**Hs 4 m, Heading 180° ,Titik tinjau 37,605 m dari COG**

$\xi =$	37.605	m	$\gamma =$	1.24		$A_{\gamma} =$	0.938263034					
Hs =	4	m	$\omega_p =$	0.711211778								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\omega$	RAO Heave (Za)	RAO Pitch ( $\theta_a$ )	Amplitudo heave	Amplitudo Pitch	Amplitudo Pitch	$\xi_z$	$\xi_{\theta}$	Tg $\xi_b$	$\xi_b$	$\xi_b$	Amplitudo Gerakan	RAO Amplitudo Gerakan
			Za	$\theta_a$	$\theta_a$	Sudut fase heave	Sudut fase pitch	Sudut fase gerakan			Haluan Vertikal (Zb)a	Haluan Vertikal (Zb)a
(rad/s)	(m/m)	(deg/m)	m	deg	Radian	Radian	Radian	vertikal haluan thd gelombang	degree	Radian	m	(m/m)
0.001	0.998	0.007	3.992	0.028	0.00049	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	4.01038	1.00259
0.1	0.997	0.058	3.988	0.232	0.00405	-0.01745	1.41372	0.02014	1.15390	0.02014	4.01203	1.00301
0.2	0.995	0.232	3.98	0.928	0.01620	-0.13963	1.37881	0.01084	0.62096	0.01084	4.05772	1.01443
0.3	0.986	0.522	3.944	2.088	0.03644	-0.33161	1.16937	-0.00529	-0.30314	-0.00529	4.26465	1.06616
0.4	0.96	0.923	3.84	3.692	0.06444	-0.61087	0.87266	-0.07363	-4.21088	-0.07349	4.71586	1.17897
0.5	0.903	1.413	3.612	5.652	0.09865	-0.97738	0.48869	-0.23662	-13.31244	-0.23235	5.44139	1.36035
0.6	0.802	1.939	3.208	7.756	0.13537	-1.41372	0.00000	-0.56658	-29.53497	-0.51548	6.42758	1.60689
0.7	0.648	2.401	2.592	9.604	0.16762	-1.91986	-0.59341	-1.37363	-53.94540	-0.94152	7.37269	1.84317
0.8	0.442	2.645	1.768	10.58	0.18466	-2.46091	-1.30900	-18.47650	-86.90201	-1.51673	7.83146	1.95786
0.9	0.219	2.482	0.876	9.928	0.17328	-2.82743	-2.16421	1.26713	51.71999	0.90268	7.22651	1.80663
1	0.158	1.77	0.632	7.08	0.12357	-2.25147	3.10669	0.06525	3.73339	0.06516	5.05245	1.26311
1.1	0.314	0.632	1.256	2.528	0.04412	-2.67035	1.90241	-0.60182	-31.04047	-0.54176	1.93660	0.48415
1.2	0.358	0.388	1.432	1.552	0.02709	2.47837	-2.23402	-0.04497	-2.57458	-0.04493	1.75733	0.43933
1.3	0.208	0.806	0.832	3.224	0.05627	1.13446	2.63545	-1.18733	-49.89505	-0.87083	2.32709	0.58177
1.4	0.026	0.635	0.104	2.54	0.04433	-0.24435	1.18682	2.09610	64.49526	1.12565	1.68471	0.42118
1.5	0.06	0.223	0.24	0.892	0.01557	1.48353	-0.66323	-0.25163	-14.12417	-0.24651	0.49729	0.12432
1.6	0.051	0.19	0.204	0.76	0.01326	-0.05236	2.25147	-3.42106	-73.70598	-1.28641	0.39275	0.09819
1.7	0.013	0.211	0.052	0.844	0.01473	-2.67035	0.27925	0.26551	14.86972	0.25953	0.50300	0.12575
1.8	0.017	0.104	0.068	0.416	0.00726	0.36652	-2.04204	3.62000	74.55755	1.30127	0.22710	0.05678
1.9	0.026	0.13	0.104	0.52	0.00908	-1.06465	0.69813	0.41177	22.38058	0.39061	0.33727	0.08432
2	0.009	0.081	0.036	0.324	0.00565	0.78540	-1.39626	-2.94899	-71.26823	-1.24387	0.19425	0.04856

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Tg ebr Sudut fase gerak relatif	Ebr	Ebr	S( $\omega$ )	SM	Amplitudo Gerak Relatif Vertikal Haluan (Zbr)a	RAO Amplitudo Gerak Relatif Vertikal Haluan (Zbr)a	RAO (Zbr)^2	Sr( $\omega$ ) RAO (Zbr) ^2 * S( $\omega$ )	Sr( $\omega$ )*SM	$\omega$ *Sr(w)*SM	$\omega^2$ *Sr(w)*SM	$\omega^4$ *Sr(w)*SM
Vertikal haluan thd gelombang	degree	Radian	(m <sup>2</sup> /rad/s)		m	(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /rad/s)	(m <sup>2</sup> /rad/s)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /rad/s)	(m <sup>2</sup> /rad <sup>3</sup> /s <sup>3</sup> )
0.00000	-0.00022	0.00000	0.00000	1	2.01038	0.50259	0.253	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00206	0.11803	0.00206	0.00000	4	2.01465	0.50366	0.254	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.12566	-7.16221	-0.12500	0.00000	2	2.20429	0.55107	0.304	2.13525E-84	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.29338	-16.35055	-0.28537	0.00000	4	2.89951	0.72488	0.525	2.22008E-15	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.48815	-26.01913	-0.45412	0.00052	2	4.14010	1.03502	1.071	0.00056119	0.00112	0.00045	0.00018	0.00003
-0.69702	-34.87708	-0.60872	0.27101	4	5.79027	1.44757	2.095	0.567890898	2.27156	1.13578	0.56789	0.14197
-0.98449	-44.55222	-0.77758	1.51919	2	7.71682	1.92920	3.722	5.654150933	11.30830	6.78498	4.07099	1.46556
-1.59094	-57.84820	-1.00964	2.15207	4	9.32223	2.33056	5.431	11.68897646	46.75591	32.72913	22.91039	11.22609
-4.61923	-77.78475	-1.35760	1.87893	2	9.48148	2.37037	5.619	10.55703673	21.11407	16.89126	13.51301	8.64832
0.86473	40.85100	0.71298	1.36867	4	8.79664	2.19916	4.836	6.619314486	26.47726	23.82953	21.44658	17.37173
0.24381	13.70184	0.23914	0.93473	2	6.90667	1.72667	2.981	2.786774321	5.57355	5.57355	5.57355	5.57355
0.55107	28.85765	0.50366	0.62874	4	3.46134	0.86533	0.749	0.47080143	1.88321	2.07153	2.27868	2.75720
4.20103	76.61068	1.33711	0.42594	2	3.26171	0.81543	0.665	0.28321345	0.56643	0.67971	0.81565	1.17454
4.68243	77.94476	1.36039	0.29360	4	2.39645	0.59911	0.359	0.105382784	0.42153	0.54799	0.71239	1.20394
-6.37164	-81.08045	-1.41512	0.20673	2	3.57267	0.89317	0.798	0.164918706	0.32984	0.46177	0.64648	1.26710
-0.82930	-39.66885	-0.69235	0.14871	4	2.49499	0.62375	0.389	0.057857545	0.23143	0.34715	0.52072	1.17162
0.19414	10.98678	0.19176	0.10907	2	2.38640	0.59660	0.356	0.038821852	0.07764	0.12423	0.19877	0.50885
6.61497	81.40356	1.42076	0.08137	4	2.49213	0.62303	0.388	0.031583992	0.12634	0.21477	0.36511	1.05517
-0.26620	-14.90626	-0.26016	0.06162	2	1.77455	0.44364	0.197	0.012127073	0.02425	0.04366	0.07858	0.25461
6.43787	81.17075	1.41670	0.04730	4	1.66697	0.41674	0.174	0.008214821	0.03286	0.06243	0.11862	0.42823
-0.47608	-25.45821	-0.44433	0.03677	1	2.19382	0.54846	0.301	0.01105969	0.01106	0.02212	0.04424	0.17696
								$\Sigma =$	117.20636	91.52004	73.86183	54.42546
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

## Perhitungan Gerak Relatif Vertikal Haluan

Hs 5 m, Heading 180° ,Titik tinjau 37,605 m dari COG

$\xi =$	37.605	m	$\gamma =$	1.24		$A_{\gamma} =$	0.938263034					
Hs =	5	m	$\omega_p =$	0.711211778								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\omega$	RAO Heave (Za)	RAO Pitch ( $\Theta_a$ )	Amplitudo heave	Amplitudo Pitch	Amplitudo Pitch	$\xi_z$	$\xi_{\theta}$	Tg $\xi_b$	$\xi_b$	$\xi_b$	Amplitudo Gerakan Haluan Vertikal (Zb)a	RAO Amplitudo Gerakan Haluan Vertikal (Zb)a
			Za	$\Theta_a$	$\Theta_a$	Sudut fase heave	Sudut fase pitch	Sudut fase gerakan			m	(m/m)
(rad/s)	(m/m)	(deg/m)	m	deg	Radian	Radian	Radian	vertikal haluan thd gelombang	degree	Radian		
0.001	0.998	0.007	4.99	0.035	0.00061	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	5.01297	1.00259
0.1	0.997	0.058	4.985	0.29	0.00506	-0.01745	1.41372	0.02014	1.15390	0.02014	5.01503	1.00301
0.2	0.995	0.232	4.975	1.16	0.02025	-0.13963	1.37881	0.01084	0.62096	0.01084	5.07215	1.01443
0.3	0.986	0.522	4.93	2.61	0.04555	-0.33161	1.16937	-0.00529	-0.30314	-0.00529	5.33081	1.06616
0.4	0.96	0.923	4.8	4.615	0.08055	-0.61087	0.87266	-0.07363	-4.21088	-0.07349	5.89483	1.17897
0.5	0.903	1.413	4.515	7.065	0.12331	-0.97738	0.48869	-0.23662	-13.31244	-0.23235	6.80174	1.36035
0.6	0.802	1.939	4.01	9.695	0.16921	-1.41372	0.00000	-0.56658	-29.53497	-0.51548	8.03447	1.60689
0.7	0.648	2.401	3.24	12.005	0.20953	-1.91986	-0.59341	-1.37363	-53.94540	-0.94152	9.21587	1.84317
0.8	0.442	2.645	2.21	13.225	0.23082	-2.46091	-1.30900	-18.47650	-86.90201	-1.51673	9.78932	1.95786
0.9	0.219	2.482	1.095	12.41	0.21660	-2.82743	-2.16421	1.26713	51.71999	0.90268	9.03313	1.80663
1	0.158	1.77	0.79	8.85	0.15446	-2.25147	3.10669	0.06525	3.73339	0.06516	6.31556	1.26311
1.1	0.314	0.632	1.57	3.16	0.05515	-2.67035	1.90241	-0.60182	-31.04047	-0.54176	2.42075	0.48415
1.2	0.358	0.388	1.79	1.94	0.03386	2.47837	-2.23402	-0.04497	-2.57458	-0.04493	2.19667	0.43933
1.3	0.208	0.806	1.04	4.03	0.07034	1.13446	2.63545	-1.18733	-49.89505	-0.87083	2.90886	0.58177
1.4	0.026	0.635	0.13	3.175	0.05541	-0.24435	1.18682	2.09610	64.49526	1.12565	2.10588	0.42118
1.5	0.06	0.223	0.3	1.115	0.01946	1.48353	-0.66323	-0.25163	-14.12417	-0.24651	0.62161	0.12432
1.6	0.051	0.19	0.255	0.95	0.01658	-0.05236	2.25147	-3.42106	-73.70598	-1.28641	0.49093	0.09819
1.7	0.013	0.211	0.065	1.055	0.01841	-2.67035	0.27925	0.26551	14.86972	0.25953	0.62875	0.12575
1.8	0.017	0.104	0.085	0.52	0.00908	0.36652	-2.04204	3.62000	74.55755	1.30127	0.28388	0.05678
1.9	0.026	0.13	0.13	0.65	0.01134	-1.06465	0.69813	0.41177	22.38058	0.39061	0.42159	0.08432
2	0.009	0.081	0.045	0.405	0.00707	0.78540	-1.39626	-2.94899	-71.26823	-1.24387	0.24282	0.04856

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Tg Ebr Sudut fase gerak relatif	Ebr	Ebr	S( $\omega$ )	SM	Amplitudo Gerak Relatif Vertikal Haluan (Zbr)a	RAO Amplitudo Gerak Relatif Vertikal Haluan (Zbr)a	RAO (Zbr)^2	Sr( $\omega$ ) RAO (Zbr) ^2 * S( $\omega$ )	Sr( $\omega$ )*SM	$\omega$ *Sr(w)*SM	$\omega^2$ *Sr(w)*SM	$\omega^4$ *Sr(w)*SM
Vertikal haluan thd gelombang	degree	Radian	(m <sup>2</sup> /rad/s)		m	(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /rad/s)	(m <sup>2</sup> /rad/s)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /rad/s)	(m <sup>2</sup> /rad <sup>3</sup> /s <sup>3</sup> )
0.00000	-0.00022	0.00000	0.00000	1	2.51297	0.50259	0.253	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00206	0.11803	0.00206	0.00000	4	2.51831	0.50366	0.254	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.12566	-7.16221	-0.12500	0.00000	2	2.75536	0.55107	0.304	3.33633E-84	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.29338	-16.35055	-0.28537	0.00000	4	3.62439	0.72488	0.525	3.46887E-15	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.48815	-26.01913	-0.45412	0.00082	2	5.17512	1.03502	1.071	0.00087686	0.00175	0.00070	0.00028	0.00004
-0.69702	-34.87708	-0.60872	0.42345	4	7.23784	1.44757	2.095	0.887329527	3.54932	1.77466	0.88733	0.22183
-0.98449	-44.55222	-0.77758	2.37373	2	9.64602	1.92920	3.722	8.834610832	17.66922	10.60153	6.36092	2.28993
-1.59094	-57.84820	-1.00964	3.36261	4	11.65279	2.33056	5.431	18.26402571	73.05610	51.13927	35.79749	17.54077
-4.61923	-77.78475	-1.35760	2.93583	2	11.85184	2.37037	5.619	16.4953699	32.99074	26.39259	21.11407	13.51301
0.86473	40.85100	0.71298	2.13855	4	10.99580	2.19916	4.836	10.34267888	41.37072	37.23364	33.51028	27.14333
0.24381	13.70184	0.23914	1.46051	2	8.63334	1.72667	2.981	4.354334877	8.70867	8.70867	8.70867	8.70867
0.55107	28.85765	0.50366	0.98240	4	4.32667	0.86533	0.749	0.735627235	2.94251	3.23676	3.56044	4.30813
4.20103	76.61068	1.33711	0.66552	2	4.07713	0.81543	0.665	0.442521016	0.88504	1.06205	1.27446	1.83522
4.68243	77.94476	1.36039	0.45875	4	2.99556	0.59911	0.359	0.1646606	0.65864	0.85624	1.11311	1.88115
-6.37164	-81.08045	-1.41512	0.32302	2	4.46583	0.89317	0.798	0.257685478	0.51537	0.72152	1.01013	1.97985
-0.82930	-39.66885	-0.69235	0.23236	4	3.11874	0.62375	0.389	0.090402414	0.36161	0.54241	0.81362	1.83065
0.19414	10.98678	0.19176	0.17042	2	2.98300	0.59660	0.356	0.060659144	0.12132	0.19411	0.31057	0.79507
6.61497	81.40356	1.42076	0.12713	4	3.11516	0.62303	0.388	0.049349987	0.19740	0.33558	0.57049	1.64870
-0.26620	-14.90626	-0.26016	0.09628	2	2.21819	0.44364	0.197	0.018948552	0.03790	0.06821	0.12279	0.39783
6.43787	81.17075	1.41670	0.07391	4	2.08371	0.41674	0.174	0.012835658	0.05134	0.09755	0.18535	0.66910
-0.47608	-25.45821	-0.44433	0.05745	1	2.74228	0.54846	0.301	0.017280766	0.01728	0.03456	0.06912	0.27649
								$\Sigma =$	183.13493	143.00007	115.40911	85.03978
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$



## Perhitungan Gerak Relatif Vertikal Haluan

Hs 6 m, Heading 180° ,Titik tinjau 37,605 m dari COG

$\xi =$	37.605	m	$\gamma =$	1.24		$A_y =$	0.938263034					
Hs =	6	m	$\omega_p =$	0.711211778								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\omega$	RAO Heave (Za)	RAO Pitch ( $\theta_a$ )	Amplitudo heave	Amplitudo Pitch	Amplitudo Pitch	$\Xi_z$	$\Xi_\theta$	Tg $\Xi_b$	$\Xi_b$	$\Xi_b$	Amplitudo Gerakan Haluan Vertikal (Zb)a	RAO Amplitudo Gerakan Haluan Vertikal (Zb)a
(rad/s)	(m/m)	(deg/m)	Za	$\theta_a$	$\theta_a$	Sudut fase heave	Sudut fase pitch	Sudut fase gerakan	$\Xi_b$	$\Xi_b$	m	(m/m)
			m	deg	Radian	Radian	Radian	vertikal haluan thd gelombang	degree	Radian		
0.001	0.998	0.007	5.988	0.042	0.00073	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	6.01557	1.00259
0.1	0.997	0.058	5.982	0.348	0.00607	-0.01745	1.41372	0.02014	1.15390	0.02014	6.01804	1.00301
0.2	0.995	0.232	5.97	1.392	0.02429	-0.13963	1.37881	0.01084	0.62096	0.01084	6.08658	1.01443
0.3	0.986	0.522	5.916	3.132	0.05466	-0.33161	1.16937	-0.00529	-0.30314	-0.00529	6.39698	1.06616
0.4	0.96	0.923	5.76	5.538	0.09666	-0.61087	0.87266	-0.07363	-4.21088	-0.07349	7.07379	1.17897
0.5	0.903	1.413	5.418	8.478	0.14797	-0.97738	0.48869	-0.23662	-13.31244	-0.23235	8.16208	1.36035
0.6	0.802	1.939	4.812	11.634	0.20305	-1.41372	0.00000	-0.56658	-29.53497	-0.51548	9.64137	1.60689
0.7	0.648	2.401	3.888	14.406	0.25143	-1.91986	-0.59341	-1.37363	-53.94540	-0.94152	11.05904	1.84317
0.8	0.442	2.645	2.652	15.87	0.27698	-2.46091	-1.30900	-18.47650	-86.90201	-1.51673	11.74718	1.95786
0.9	0.219	2.482	1.314	14.892	0.25991	-2.82743	-2.16421	1.26713	51.71999	0.90268	10.83976	1.80663
1	0.158	1.77	0.948	10.62	0.18535	-2.25147	3.10669	0.06525	3.73339	0.06516	7.57867	1.26311
1.1	0.314	0.632	1.884	3.792	0.06618	-2.67035	1.90241	-0.60182	-31.04047	-0.54176	2.90491	0.48415
1.2	0.358	0.388	2.148	2.328	0.04063	2.47837	-2.23402	-0.04497	-2.57458	-0.04493	2.63600	0.43933
1.3	0.208	0.806	1.248	4.836	0.08440	1.13446	2.63545	-1.18733	-49.89505	-0.87083	3.49063	0.58177
1.4	0.026	0.635	0.156	3.81	0.06650	-0.24435	1.18682	2.09610	64.49526	1.12565	2.52706	0.42118
1.5	0.06	0.223	0.36	1.338	0.02335	1.48353	-0.66323	-0.25163	-14.12417	-0.24651	0.74593	0.12432
1.6	0.051	0.19	0.306	1.14	0.01990	-0.05236	2.25147	-3.42106	-73.70598	-1.28641	0.58912	0.09819
1.7	0.013	0.211	0.078	1.266	0.02210	-2.67035	0.27925	0.26551	14.86972	0.25953	0.75450	0.12575
1.8	0.017	0.104	0.102	0.624	0.01089	0.36652	-2.04204	3.62000	74.55755	1.30127	0.34066	0.05678
1.9	0.026	0.13	0.156	0.78	0.01361	-1.06465	0.69813	0.41177	22.38058	0.39061	0.50590	0.08432
2	0.009	0.081	0.054	0.486	0.00848	0.78540	-1.39626	-2.94899	-71.26823	-1.24387	0.29138	0.04856

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Tg Ebr	Ebr	Ebr	S( $\omega$ )	SM	Amplitudo Gerak Relatif Vertikal Haluan (Zbr)a	RAO Amplitudo Gerak Relatif Vertikal Haluan (Zbr)a	RAO (Zbr)*2	Sr( $\omega$ )	Sr( $\omega$ )*SM	$\omega$ *Sr(w)*SM	$\omega^2$ *Sr(w)*SM	$\omega^4$ *Sr(w)*SM
Sudut fase gerak relatif								RAO (Zbr) *2 * S( $\omega$ )				
Vertikal haluan thd gelombang	degree	Radian	(m <sup>2</sup> /rad/s)		m	(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /rad/s)	(m <sup>2</sup> /rad/s)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /rad/s)	(m <sup>2</sup> /rad <sup>3</sup> /s <sup>3</sup> )
0.00000	-0.00022	0.00000	0.00000	1	3.01557	0.50259	0.253	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00206	0.11803	0.00206	0.00000	4	3.02197	0.50366	0.254	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.12566	-7.16221	-0.12500	0.00000	2	3.30643	0.55107	0.304	4.80432E-84	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.29338	-16.35055	-0.28537	0.00000	4	4.34926	0.72488	0.525	4.99517E-15	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.48815	-26.01913	-0.45412	0.00118	2	6.21015	1.03502	1.071	0.001262679	0.00253	0.00101	0.00040	0.00006
-0.69702	-34.87708	-0.60872	0.60978	4	8.68541	1.44757	2.095	1.27775452	5.11102	2.55551	1.27775	0.31944
-0.98449	-44.55222	-0.77758	3.41817	2	11.57522	1.92920	3.722	12.7218396	25.44368	15.26621	9.15972	3.29750
-1.59094	-57.84820	-1.00964	4.84216	4	13.98335	2.33056	5.431	26.30019703	105.20079	73.64055	51.54839	25.25871
-4.61923	-77.78475	-1.35760	4.22759	2	14.22221	2.37037	5.619	23.75333265	47.50667	38.00533	30.40427	19.45873
0.86473	40.85100	0.71298	3.07951	4	13.19496	2.19916	4.836	14.89345759	59.57383	53.61645	48.25480	39.08639
0.24381	13.70184	0.23914	2.10313	2	10.36001	1.72667	2.981	6.270242223	12.54048	12.54048	12.54048	12.54048
0.55107	28.85765	0.50366	1.41466	4	5.19200	0.86533	0.749	1.059303218	4.23721	4.66093	5.12703	6.20370
4.20103	76.61068	1.33711	0.95835	2	4.89256	0.81543	0.665	0.637230263	1.27446	1.52935	1.83522	2.64272
4.68243	77.94476	1.36039	0.66060	4	3.59467	0.59911	0.359	0.237111264	0.94845	1.23298	1.60287	2.70885
-6.37164	-81.08045	-1.41512	0.46514	2	5.35900	0.89317	0.798	0.371067089	0.74213	1.03899	1.45458	2.85098
-0.82930	-39.66885	-0.69235	0.33460	4	3.74249	0.62375	0.389	0.130179476	0.52072	0.78108	1.17162	2.63613
0.19414	10.98678	0.19176	0.24541	2	3.57960	0.59660	0.356	0.087349167	0.17470	0.27952	0.44723	1.14490
6.61497	81.40356	1.42076	0.18307	4	3.73820	0.62303	0.388	0.071063982	0.28426	0.48324	0.82150	2.37413
-0.26620	-14.90626	-0.26016	0.13864	2	2.66183	0.44364	0.197	0.027285914	0.05457	0.09823	0.17681	0.57287
6.43787	81.17075	1.41670	0.10643	4	2.50045	0.41674	0.174	0.018483347	0.07393	0.14047	0.26690	0.96351
-0.47608	-25.45821	-0.44433	0.08273	1	3.29074	0.54846	0.301	0.024884303	0.02488	0.04977	0.09954	0.39815
								$\Sigma =$	263.71431	205.92010	166.18912	122.45728
									$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$

## Perhitungan Elevasi

**Hs 4 m, Heading 180°, Titik tinjau 37,605 m dari COG**

Perhitungan Elevasi			
$\xi$	=	37.605	m
Hs	=	4	m
$\xi$	=	37.605	m
Hs	=	4.000	m
L	=	76.200	m
T	=	4.200	m
fb	=	5.000	m
Vs	=	15.000	m
Za	=	2.592	m
$\Theta_a$	=	0.168	rad
$\Xi_z$	=	-1.920	rad
$\Xi_a$	=	-0.593	rad
Berada diatas gelombang reguler			
$\lambda_w$	=	125.792	m
$\mu$	=	180°	
Hw	=	4.000	m
$\zeta_a$	=	2.000	m
Zba	=	7.373	m
$\varepsilon_b$	=	-0.942	rad
$\omega_e$	=	0.700	rad/s
T	=	8.976	s
Ke	=	0.049949032	
(Zbr)a	=	9.322	m
$\varepsilon_{br}$	=	-1.010	rad
ar	=	4.350657385	rad.m/s <sup>2</sup>

## Perhitungan Elevasi

**Hs 5 m, Heading 180°, Titik tinjau 37,605 m dari COG**

[illegible]

**Hs 6 m, Heading 180°, Titik tinjau 37,605 m dari COG**

[illegible]

### Full Load Stillwater Condition

No.	Frame	Area	Buoyancy (MN)	Weight (MN)	Load (MN)	f(x)	$\Sigma f(x)$	Mid $\Sigma f(x)$ (MN)	BM (MN m)	$\Sigma$ BM	Correction	BM
			I	II	III = II - I	IV = III x b		IV	IV x b			
							0			0		0
1	-5-AP	43.70273	0.220	0.660	0.440	15.224	15.224	7.612	263.064	263.064	461.259	-198.195
2	AP-5	119.389	0.589	0.879	0.290	9.191	24.414	19.819	627.866	890.930	922.517	-31.587
3	5-10	164.6873	0.814	1.201	0.386	11.128	35.542	29.978	863.372	1754.302	1383.776	370.526
4	10-15	202.1689	0.999	1.276	0.277	7.187	42.729	39.136	1014.394	2768.696	1845.035	923.661
5	15-20	233.9081	1.155	0.886	-0.269	-6.202	36.527	39.628	913.028	3681.724	2306.293	1375.431
6	20-25	261.3433	1.290	0.924	-0.366	-7.376	29.151	32.839	662.027	4343.751	2767.552	1576.199
7	25-30	284.5739	1.405	0.800	-0.605	-10.449	18.702	23.926	413.446	4757.196	3228.811	1528.385
8	30-35	304.2946	1.502	0.897	-0.605	-8.714	9.988	14.345	206.570	4963.766	3690.070	1273.696
9	35-40	321.3283	1.587	0.938	-0.649	-7.478	2.510	6.249	71.990	5035.756	4151.328	884.428
10	40-45	333.4739	1.647	1.054	-0.593	-5.125	-2.615	-0.053	-0.454	5035.302	4612.587	422.716
11	45-50	336.2422	1.659	1.064	-0.596	-3.431	-6.046	-4.331	-24.945	5010.357	5073.846	-63.488
12	50-55	339.8521	1.678	1.196	-0.482	-1.387	-7.434	-6.740	-19.411	4990.946	5535.104	-544.158
13	55-60	341.321	1.685	1.225	-0.460	0.000	-7.434	-7.434	0.000	4990.946	5996.363	-1005.417
14	60-65	337.2814	1.665	1.570	-0.095	0.275	-7.159	-7.296	21.013	5011.959	6457.622	-1445.662
15	65-70	329.8896	1.629	1.644	0.015	-0.087	-7.246	-7.202	41.486	5053.446	6918.880	-1865.435
16	70-75	320.6583	1.583	1.414	-0.169	1.457	-5.789	-6.518	56.313	5109.758	7380.139	-2270.381
17	75-80	311.0179	1.535	2.115	0.579	-6.675	-12.464	-9.127	105.138	5214.896	7841.398	-2626.501
18	80-85	300.4077	1.483	1.209	-0.274	3.941	-8.522	-10.493	151.101	5365.997	8302.656	-2936.660
19	85-90	287.4375	1.419	1.896	0.477	-8.251	-16.773	-12.648	218.552	5584.549	8763.915	-3179.367
20	90-95	268.759	1.328	1.773	0.445	-8.978	-25.751	-21.262	428.637	6013.186	9225.174	-3211.988
21	95-100	238.7934	1.181	1.555	0.374	-8.612	-34.363	-30.057	692.503	6705.689	9686.433	-2980.744
22	100-105	190.3486	0.944	0.917	-0.027	0.688	-33.675	-34.019	881.762	7587.451	10147.691	-2560.240
23	105-110	113.0417	0.555	0.344	-0.211	6.089	-27.585	-30.630	882.147	8469.598	10608.950	-2139.352
24	110-FP	45.0063	0.222	0.875	0.653	-20.674	-48.259	-37.922	1201.378	9670.976	11070.209	-1399.232
25	FP-119	10.34322	0.056	0.379	0.323	-11.149	-59.408	-53.834	1860.491	11531.467	11531.467	0.000

### Full Load Hogging Condition - Slamming

No.	Frame	Area	Buoyancy (MN)	Weight (MN)	Load (MN)	f(x)	$\Sigma f(x)$	Mid $\Sigma f(x)$ (MN)	BM (MN m)	$\Sigma$ BM	Correction	BM
			I	II	III = II - I	IV = III x b		IV	IV x b			
							0			0		0
1	-5-AP	47.9905	0.234	0.660	0.426	14.733	14.733	7.367	254.587	254.587	209.320	45.267
2	AP-5	133.8308	0.660	0.879	0.219	6.945	21.678	18.206	576.757	831.344	418.641	412.703
3	5-10	196.2693	0.970	1.201	0.231	6.642	28.321	25.000	719.989	1551.332	627.961	923.371
4	10-15	252.9252	1.252	1.276	0.024	0.622	28.943	28.632	742.134	2293.467	837.281	1456.185
5	15-20	303.2559	1.498	0.886	-0.612	-14.097	14.845	21.894	504.439	2797.906	1046.602	1751.304
6	20-25	352.7048	1.738	0.924	-0.814	-16.407	-1.561	6.642	133.903	2931.809	1255.922	1675.887
7	25-30	393.9291	1.946	0.800	-1.146	-19.808	-21.370	-11.466	-198.125	2733.685	1465.242	1268.442
8	30-35	430.3883	2.127	0.897	-1.230	-17.714	-39.083	-30.227	-435.262	2298.423	1674.563	623.860
9	35-40	463.2864	2.288	0.938	-1.351	-15.560	-54.643	-46.863	-539.863	1758.559	1883.883	-125.324
10	40-45	486.5525	2.401	1.054	-1.347	-11.638	-66.281	-60.462	-522.389	1236.170	2093.203	-857.033
11	45-50	496.9815	2.450	1.064	-1.386	-7.985	-74.266	-70.273	-404.774	831.396	2302.524	-1471.128
12	50-55	511.1582	2.525	1.196	-1.329	-3.829	-78.095	-76.180	-219.399	611.997	2511.844	-1899.847
13	55-60	515.7368	2.546	1.225	-1.322	0.000	-78.095	-78.095	0.000	611.997	2721.164	-2109.168
14	60-65	514.0071	2.538	1.570	-0.968	2.787	-75.307	-76.701	220.899	832.896	2930.485	-2097.589
15	65-70	506.7322	2.503	1.644	-0.859	4.950	-70.358	-72.833	419.515	1252.411	3139.805	-1887.394
16	70-75	495.2349	2.443	1.414	-1.029	8.889	-61.469	-65.913	569.490	1821.901	3349.125	-1527.224
17	75-80	479.939	2.369	2.115	-0.254	2.931	-58.538	-60.003	691.238	2513.139	3558.446	-1045.307
18	80-85	462.0485	2.284	1.209	-1.075	15.484	-43.054	-50.796	731.460	3244.599	3767.766	-523.167
19	85-90	442.1401	2.182	1.896	-0.285	4.928	-38.126	-40.590	701.391	3945.990	3977.086	-31.097
20	90-95	415.9742	2.052	1.773	-0.279	5.623	-32.503	-35.314	711.936	4657.925	4186.407	471.519
21	95-100	376.9713	1.862	1.555	-0.307	7.078	-25.425	-28.964	667.332	5325.257	4395.727	929.530
22	100-105	314.7363	1.555	0.917	-0.638	16.549	-8.876	-17.151	444.542	5769.800	4605.047	1164.752
23	105-110	224.2835	1.107	0.344	-0.763	21.971	13.095	2.109	-60.749	5709.050	4814.368	894.683
24	110-FP	135.4926	0.666	0.875	0.209	-6.625	6.469	9.782	-309.893	5399.158	5023.688	375.469
25	FP-119	54.26488	0.283	0.379	0.096	-3.324	3.146	4.808	-166.149	5233.008	5233.008	0.000

### Full Load Sagging Condition - Slamming

No.	Frame	Area	Buoyancy (MN)	Weight (MN)	Load (MN)	f(x)	$\Sigma f(x)$	Mid $\Sigma f(x)$ (MN)	BM (MN m)	$\Sigma$ BM	Correction	BM
			I	II	III = II - I	IV = III x b		IV	IV x b			
							0			0		0
1	-5-AP	26.55588	0.140	0.660	0.520	17.981	17.981	8.991	310.714	310.714	429.183	-118.469
2	AP-5	71.18874	0.339	0.879	0.540	17.110	35.091	26.536	840.664	1151.377	858.365	293.012
3	5-10	94.70917	0.454	1.201	0.747	21.504	56.596	45.843	1320.288	2471.665	1287.548	1184.117
4	10-15	103.2898	0.510	1.276	0.766	19.844	76.439	66.517	1724.130	4195.795	1716.731	2479.065
5	15-20	93.87824	0.464	0.886	0.421	9.710	86.149	81.294	1873.017	6068.813	2145.913	3922.899
6	20-25	79.93895	0.395	0.924	0.529	10.660	96.809	91.479	1844.221	7913.033	2575.096	5337.937
7	25-30	65.96575	0.324	0.800	0.476	8.229	105.038	100.924	1743.964	9656.998	3004.279	6652.719
8	30-35	49.56758	0.244	0.897	0.653	9.399	114.438	109.738	1580.229	11237.226	3433.461	7803.765
9	35-40	35.61133	0.177	0.938	0.761	8.765	123.203	118.820	1368.811	12606.037	3862.644	8743.393
10	40-45	21.57029	0.106	1.054	0.948	8.191	131.394	127.299	1099.860	13705.897	4291.827	9414.070
11	45-50	9.648974	0.047	1.064	1.016	5.853	137.248	134.321	773.688	14479.585	4721.009	9758.576
12	50-55	2.408004	0.011	1.196	1.184	3.411	140.659	138.953	400.185	14879.770	5150.192	9729.578
13	55-60	0.356113	0.001	1.225	1.223	0.000	140.659	140.659	0.000	14879.770	5579.375	9300.395
14	60-65	3.645922	0.018	1.570	1.552	-4.470	136.188	138.424	-398.660	14481.110	6008.557	8472.553
15	65-70	11.34475	0.055	1.644	1.589	-9.153	127.035	131.612	-758.084	13723.026	6437.740	7285.286
16	70-75	112.1248	0.624	1.414	0.790	-6.825	120.210	123.623	-1068.099	12654.927	6866.923	5788.004
17	75-80	32.88113	0.163	2.115	1.952	-22.483	97.727	108.968	-1255.313	11399.613	7296.105	4103.508
18	80-85	45.49771	0.224	1.209	0.985	-14.188	83.539	90.633	-1305.111	10094.502	7725.288	2369.214
19	85-90	61.4041	0.301	1.896	1.595	-27.560	55.979	69.759	-1205.433	8889.069	8154.471	734.598
20	90-95	77.14092	0.384	1.773	1.389	-27.997	27.982	41.980	-846.322	8042.747	8583.653	-540.907
21	95-100	82.34696	0.409	1.555	1.146	-26.402	1.580	14.781	-340.550	7702.196	9012.836	-1310.640
22	100-105	73.44412	0.367	0.917	0.550	-14.243	-12.663	-5.542	143.640	7845.836	9442.019	-1596.182
23	105-110	39.66424	0.192	0.344	0.152	-4.387	-17.050	-14.857	427.870	8273.707	9871.201	-1597.495
24	110-FP	21.29897	0.105	0.875	0.769	-24.372	-41.422	-29.236	926.195	9199.902	10300.384	-1100.482
25	FP-119	33.77989	0.214	0.379	0.164	-5.678	-47.100	-44.261	1529.665	10729.567	10729.567	0.000



### Full Load Hogging Condition + Slamming

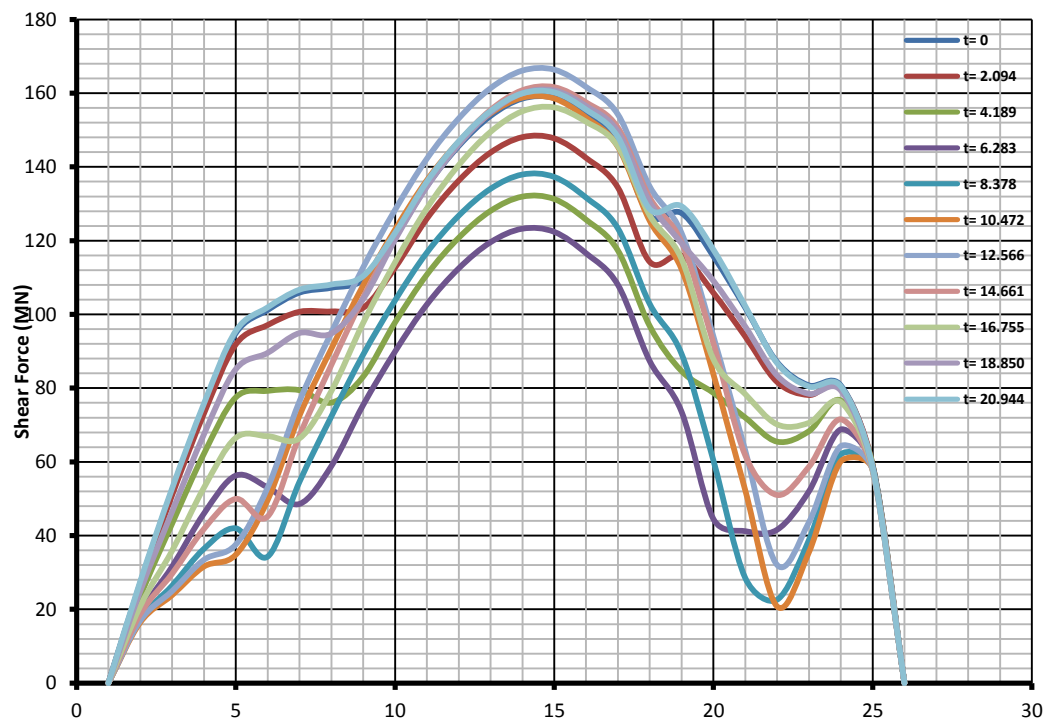
No.	Frame	Area	Buoyancy (MN)	Weight (MN)	Load (MN)	f(x)	$\Sigma f(x)$	Mid $\Sigma f(x)$ (MN)	BM (MN m)	$\Sigma$ BM	Correction	BM
			I	II	III = II - I	IV = III x b		IV	IV x b			
							0			0		0
1	-5-AP	47.9905	0.234	0.660	0.426	14.733	14.733	7.367	254.587	254.587	244.101	10.486
2	AP-5	133.8308	0.660	0.879	0.219	6.945	21.678	18.206	576.757	831.344	488.201	343.142
3	5-10	196.2693	0.970	1.201	0.231	6.642	28.321	25.000	719.989	1551.332	732.302	819.030
4	10-15	252.9252	1.252	1.276	0.024	0.622	28.943	28.632	742.134	2293.467	976.403	1317.064
5	15-20	303.2559	1.498	0.886	-0.612	-14.097	14.845	21.894	504.439	2797.906	1220.504	1577.402
6	20-25	352.7048	1.738	0.924	-0.814	-16.407	-1.561	6.642	133.903	2931.809	1464.604	1467.205
7	25-30	393.9291	1.946	0.800	-1.146	-19.808	-21.370	-11.466	-198.125	2733.685	1708.705	1024.979
8	30-35	430.3883	2.127	0.897	-1.230	-17.714	-39.083	-30.227	-435.262	2298.423	1952.806	345.617
9	35-40	463.2864	2.288	0.938	-1.351	-15.560	-54.643	-46.863	-539.863	1758.559	2196.907	-438.347
10	40-45	486.5525	2.401	1.054	-1.347	-11.638	-66.281	-60.462	-522.389	1236.170	2441.007	-1204.837
11	45-50	496.9815	2.450	1.064	-1.386	-7.985	-74.266	-70.273	-404.774	831.396	2685.108	-1853.712
12	50-55	511.1582	2.525	1.196	-1.329	-3.829	-78.095	-76.180	-219.399	611.997	2929.209	-2317.212
13	55-60	515.7368	2.546	1.225	-1.322	0.000	-78.095	-78.095	0.000	611.997	3173.310	-2561.313
14	60-65	514.0071	2.538	1.570	-0.968	2.787	-75.307	-76.701	220.899	832.896	3417.410	-2584.515
15	65-70	506.7322	2.503	1.644	-0.859	4.950	-70.358	-72.833	419.515	1252.411	3661.511	-2409.100
16	70-75	495.2349	2.443	1.414	-1.029	8.889	-61.469	-65.913	569.490	1821.901	3905.612	-2083.711
17	75-80	479.939	2.369	2.115	-0.254	2.931	-58.538	-60.003	691.238	2513.139	4149.713	-1636.574
18	80-85	462.0485	2.284	1.209	-1.075	15.484	-43.054	-50.796	731.460	3244.599	4393.813	-1149.214
19	85-90	442.1401	2.182	1.896	-0.285	4.928	-38.126	-40.590	701.391	3945.990	4637.914	-691.924
20	90-95	415.9742	2.052	1.773	-0.279	5.623	-32.503	-35.314	711.936	4657.925	4882.015	-224.090
21	95-100	376.9713	1.862	1.555	-0.307	7.078	-25.425	-28.964	667.332	5325.257	5126.116	199.142
22	100-105	314.7363	1.555	0.917	-0.638	16.549	-8.876	-17.151	444.542	5769.800	5370.216	399.583
23	105-110	224.2835	1.107	0.344	-0.763	21.971	13.095	2.109	-60.749	5709.050	5614.317	94.733
24	110-FP	135.4926	0.666	0.875	0.209	-6.625	6.469	9.782	-309.893	5399.158	5858.418	-459.260
25	FP-119	54.26488	0.283	1.835	1.552	-53.642	-47.173	-20.352	703.361	6102.519	6102.519	0.000

### Full Load Sagging Condition + Slamming

No.	Frame	Area	Buoyancy (MN)	Weight (MN)	Load (MN)	f(x)	$\Sigma f(x)$	Mid $\Sigma f(x)$ (MN)	BM (MN m)	$\Sigma BM$	Correction	BM
			I	II	III = II - I	IV = III x b		IV	IV x b			
							0			0		0
1	-5-AP	26.55588	0.140	0.660	0.520	17.981	17.981	8.991	310.714	310.714	463.963	-153.250
2	AP-5	71.18874	0.339	0.879	0.540	17.110	35.091	26.536	840.664	1151.377	927.926	223.451
3	5-10	94.70917	0.454	1.201	0.747	21.504	56.596	45.843	1320.288	2471.665	1391.889	1079.776
4	10-15	103.2898	0.510	1.276	0.766	19.844	76.439	66.517	1724.130	4195.795	1855.852	2339.943
5	15-20	93.87824	0.464	0.886	0.421	9.710	86.149	81.294	1873.017	6068.813	2319.815	3748.997
6	20-25	79.93895	0.395	0.924	0.529	10.660	96.809	91.479	1844.221	7913.033	2783.778	5129.255
7	25-30	65.96575	0.324	0.800	0.476	8.229	105.038	100.924	1743.964	9656.998	3247.742	6409.256
8	30-35	49.56758	0.244	0.897	0.653	9.399	114.438	109.738	1580.229	11237.226	3711.705	7525.522
9	35-40	35.61133	0.177	0.938	0.761	8.765	123.203	118.820	1368.811	12606.037	4175.668	8430.370
10	40-45	21.57029	0.106	1.054	0.948	8.191	131.394	127.299	1099.860	13705.897	4639.631	9066.266
11	45-50	9.648974	0.047	1.064	1.016	5.853	137.248	134.321	773.688	14479.585	5103.594	9375.991
12	50-55	2.408004	0.011	1.196	1.184	3.411	140.659	138.953	400.185	14879.770	5567.557	9312.213
13	55-60	0.356113	0.001	1.225	1.223	0.000	140.659	140.659	0.000	14879.770	6031.520	8848.250
14	60-65	3.645922	0.018	1.570	1.552	-4.470	136.188	138.424	-398.660	14481.110	6495.483	7985.627
15	65-70	11.34475	0.055	1.644	1.589	-9.153	127.035	131.612	-758.084	13723.026	6959.446	6763.580
16	70-75	112.1248	0.624	1.414	0.790	-6.825	120.210	123.623	-1068.099	12654.927	7423.409	5231.518
17	75-80	32.88113	0.163	2.115	1.952	-22.483	97.727	108.968	-1255.313	11399.613	7887.372	3512.241
18	80-85	45.49771	0.224	1.209	0.985	-14.188	83.539	90.633	-1305.111	10094.502	8351.335	1743.167
19	85-90	61.4041	0.301	1.896	1.595	-27.560	55.979	69.759	-1205.433	8889.069	8815.298	73.771
20	90-95	77.14092	0.384	1.773	1.389	-27.997	27.982	41.980	-846.322	8042.747	9279.261	-1236.515
21	95-100	82.34696	0.409	1.555	1.146	-26.402	1.580	14.781	-340.550	7702.196	9743.225	-2041.028
22	100-105	73.44412	0.367	0.917	0.550	-14.243	-12.663	-5.542	143.640	7845.836	10207.188	-2361.351
23	105-110	39.66424	0.192	0.344	0.152	-4.387	-17.050	-14.857	427.870	8273.707	10671.151	-2397.444
24	110-FP	21.29897	0.105	0.875	0.769	-24.372	-41.422	-29.236	926.195	9199.902	11135.114	-1935.212
25	FP-119	33.77989	0.214	1.835	1.620	-55.997	-97.419	-69.421	2399.175	11599.077	11599.077	0.000

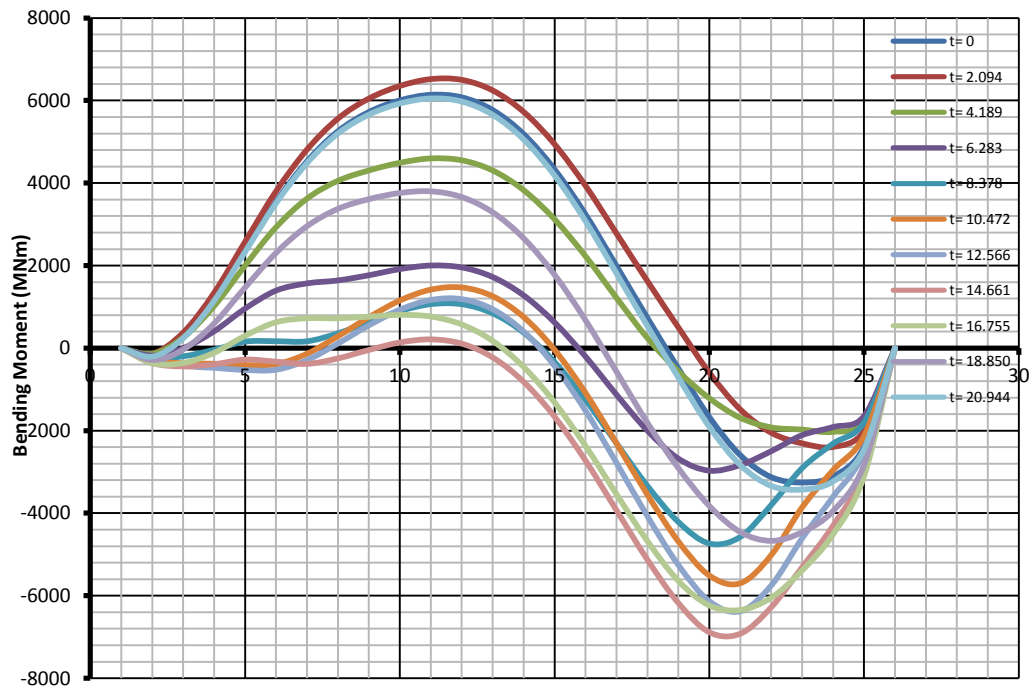
## Shear Force Frekuensi 0,3 rad/s

Frame 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5-AP	27.08682	26.54638	23.49487	18.88898	17.20705	16.4589	16.95337	18.69499	20.86347	24.93291	27.56408
AP-5	52.21997	50.96655	43.23286	31.58995	26.41484	23.85858	24.94981	29.64801	35.8849	46.47051	52.77141
5-10	75.14376	73.08153	62.20419	45.97629	36.42125	31.61164	33.45534	41.8083	52.97958	67.43261	75.73979
10-15	94.86876	91.84993	77.5058	56.29002	41.99094	34.80859	37.56834	49.97606	66.52147	85.12206	95.48
15-20	101.1567	97.11548	79.27587	53.13545	34.28935	49.58768	52.98076	45.19466	66.97442	89.57068	101.8857
20-25	105.8771	100.7218	79.46746	48.5954	54.55765	72.51222	76.39717	67.0647	66.37282	94.95523	106.6934
25-30	107.194	100.8124	76.07929	58.81643	72.25775	90.63061	95.00743	86.24883	79.16589	94.80208	108.0909
30-35	109.3612	101.7713	83.12069	75.40784	89.05229	107.8434	112.7121	104.5274	97.6732	104.1663	110.3486
35-40	120.9554	112.6463	97.7957	89.88105	103.7286	122.9381	128.2986	120.6878	114.0623	120.2377	122.0343
40-45	134.7771	125.9432	110.7775	102.6611	116.7118	136.3395	142.192	135.155	128.7583	134.616	135.9453
45-50	145.6164	136.2577	120.777	112.4587	126.7126	146.7586	153.1029	146.6398	140.4718	146.0118	146.8739
50-55	153.7741	143.8905	128.0948	119.5747	134.0317	154.496	161.3322	155.4429	149.5037	154.7259	155.1209
55-60	158.4874	148.079	131.9682	123.2464	137.9065	158.7891	166.1171	160.8017	155.0913	159.9958	159.9235
60-65	158.6796	147.7464	131.3205	122.3969	137.2602	158.561	166.3809	161.6394	156.1578	160.7445	160.205
65-70	153.9242	142.4661	125.7252	116.5998	131.6661	153.3853	161.697	157.5294	152.2765	156.5455	155.5389
70-75	146.4181	134.4352	117.3792	108.052	123.3215	145.4589	154.2626	150.6689	145.6447	149.596	148.1221
75-80	126.7689	114.2612	96.89019	87.36117	102.8338	125.3895	134.685	131.6652	126.8697	130.5033	128.5623
80-85	127.4426	115.9469	84.65132	73.6206	89.29637	112.2704	122.0577	119.6118	115.0451	119.3349	129.3272
85-90	115.7426	105.8666	78.73865	44.52352	60.40242	83.79471	94.07396	92.20185	87.86392	109.1323	117.5559
90-95	101.8253	94.02305	72.03117	41.22368	28.53307	52.34364	63.11476	61.81653	78.39683	96.73089	102.2614
95-100	87.05082	81.69971	65.50511	41.60036	22.61519	20.80895	32.07194	51.03755	70.1846	83.44201	86.79465
100-105	80.73327	78.12874	68.33393	52.0144	38.82308	35.48303	43.62161	58.68345	70.59172	78.4727	80.42842
105-110	80.72403	80.22907	76.69467	68.81196	62.0159	60.12633	64.26654	71.57342	76.26071	79.39171	80.48655
110-115	58.6957	59.17424	59.32845	58.9991	58.38285	57.90323	57.74695	57.73199	57.74046	58.1392	58.60639
115-119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

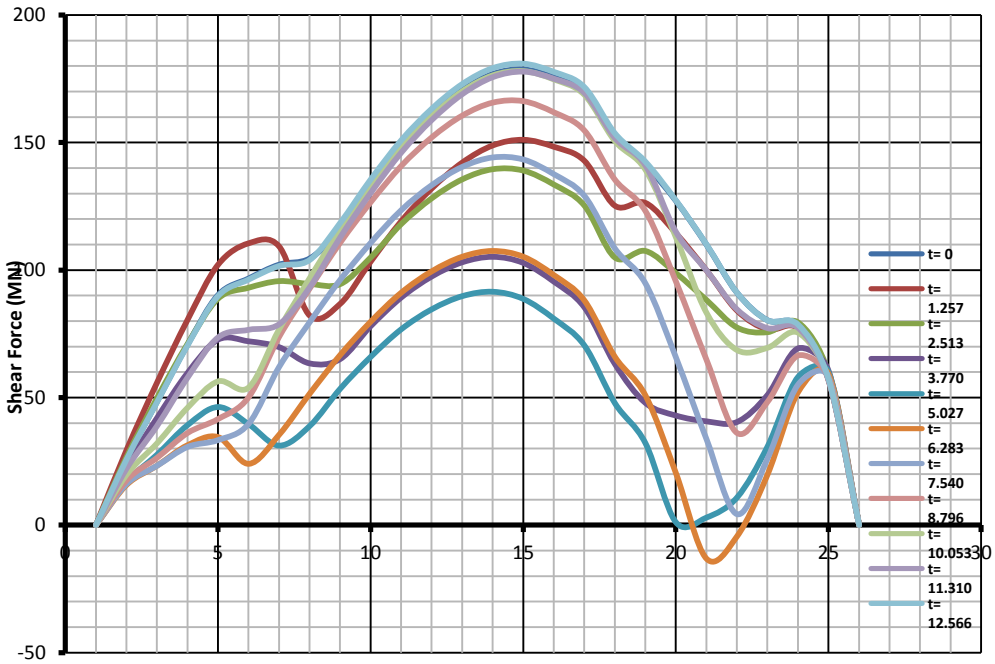


## Bending Moment Frekuensi 0,3 rad/s

Frame 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5-AP	-196.311	-133.707	-138.115	-181.021	-237.043	-293.49	-329.8	-360.327	-365.902	-288.181	-204.553
AP-5	253.0055	375.009	257.6123	0.11138	-197.626	-362.583	-433.504	-440.001	-362.399	-35.5333	241.8693
5-10	1164.758	1339.678	1019.844	408.7294	-39.1953	-376.628	-477.057	-387.641	-114.926	597.2837	1148.77
10-15	2357.601	2577.157	2001.912	957.0315	158.0816	-409.004	-530.75	-275.044	297.0339	1468.353	2334.212
15-20	3544.211	3799.722	2929.264	1392.959	167.6683	-385.58	-523.798	-325.056	625.7175	2306.477	3512.057
20-25	4525.572	4809.449	3622.735	1567.316	166.1853	-134.545	-290.293	-378.443	720.4382	2954.219	4484.147
25-30	5254.18	5560.199	4054.419	1638.977	359.2299	289.0963	113.1273	-246.493	720.427	3373.854	5202.58
30-35	5721.412	6046.391	4305.153	1764.876	634.7608	750.7423	551.8638	-42.4328	760.3412	3609.324	5658.788
35-40	6003.581	6351.247	4490.769	1913.435	898.3353	1155.951	931.4737	139.2949	802.9332	3757.91	5929.168
40-45	6138.55	6518.109	4596.7	1999.871	1065.171	1419.939	1167.174	213.9076	763.4208	3798.37	6051.569
45-50	6078.095	6499.876	4552.137	1953.378	1064.462	1471.902	1188.16	110.5991	570.9975	3659.898	5977.754
50-55	5770.187	6244.515	4305.05	1721.924	844.1765	1259.807	942.3986	-222.662	173.6322	3290.464	5655.692
55-60	5187.262	5724.464	3827.877	1277.948	376.7523	756.0918	402.3283	-813.438	-456.238	2662.505	5057.822
60-65	4330.871	4941.274	3122.168	622.9991	-336.26	-37.6925	-430.501	-1660.18	-1317.06	1777.571	4185.693
65-70	3241.304	3935.236	2228.214	-202.631	-1254.57	-1081.26	-1515.8	-2722.59	-2368.55	675.953	3079.597
70-75	1992.111	2779.897	1219.562	-1125.39	-2304.63	-2301.05	-2780.01	-3927.13	-3537.15	-568.801	1813.081
75-80	731.5392	1623.507	244.4633	-1997.04	-3338.19	-3548.82	-4074.9	-5125.55	-4674.62	-1808.44	534.3945
80-85	-493.948	501.4629	-563.698	-2674.83	-4212.5	-4681.83	-5257.71	-6175.1	-5638.21	-2907.24	-710.014
85-90	-1671.23	-596.073	-1214.3	-2965.82	-4734.63	-5507.14	-6135.51	-6882.83	-6234.98	-3824.49	-1905.65
90-95	-2594.34	-1484.42	-1688.5	-2830.72	-4575.27	-5695.44	-6378.98	-6919.46	-6344.17	-4455.87	-2831.26
95-100	-3126.91	-2050.48	-1920.58	-2494.63	-3801.78	-5014.16	-5755.58	-6279.24	-6046.58	-4670.37	-3338.67
100-105	-3257.67	-2307.73	-1973.71	-2105.72	-2906.1	-3854.98	-4610.09	-5305.63	-5387.07	-4459.97	-3427.34
105-110	-3111.34	-2393.98	-2029.29	-1910.36	-2314.74	-2953.56	-3603.1	-4299.59	-4510.87	-3946.32	-3230.27
110-115	-2393.69	-2003.92	-1777.36	-1645.39	-1804.58	-2130.75	-2513.57	-2949.03	-3103.48	-2829.47	-2455.9
115-119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

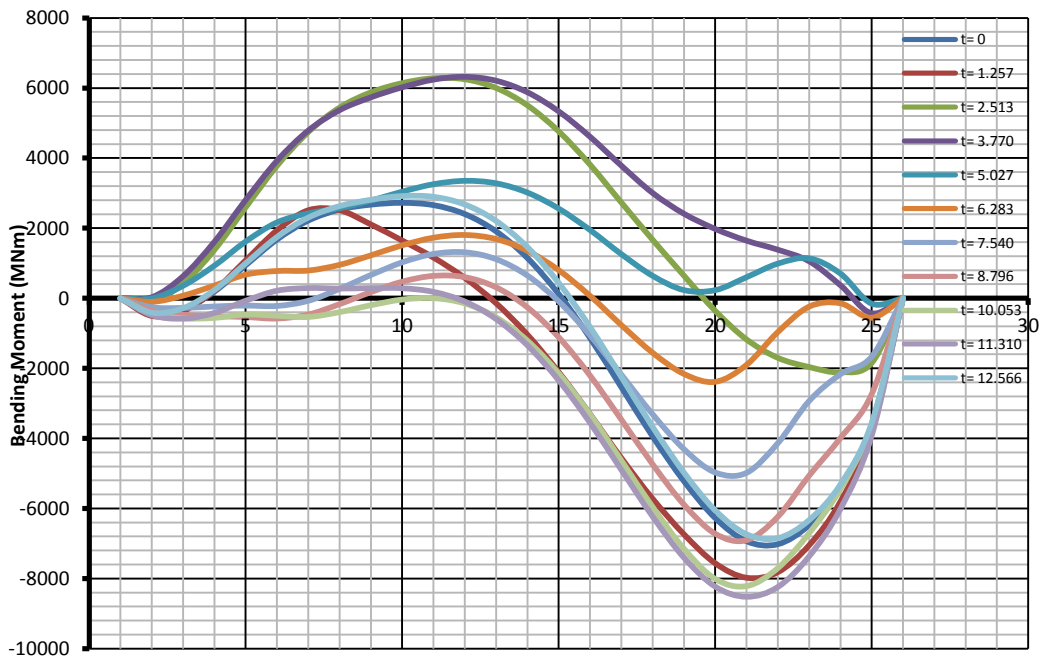


### Shear Force Frekuensi 0,5 rad/s

[illegible]

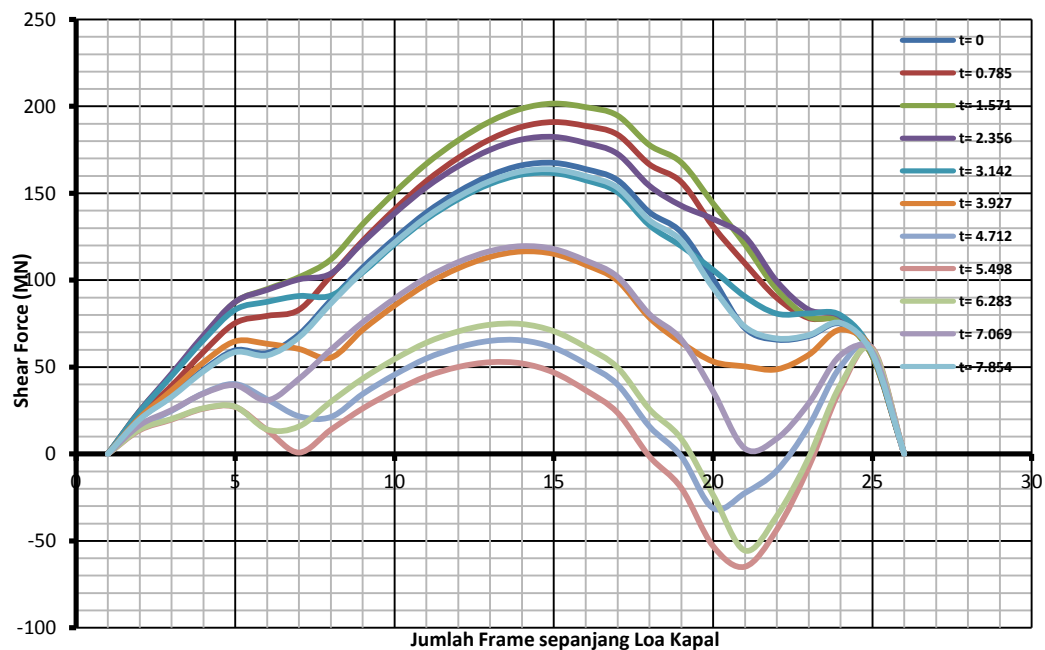
Bending Moment Frekuensi 0,5 rad/s

Frame 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5-AP	-424.732	-504.058	-104.907	29.26464	-2.43513	-102.417	-253.596	-356.706	-432.001	-482.777	-409.904
AP-5	-311.871	-368.6	420.8027	627.016	356.3273	72.69297	-274.273	-475.037	-572.136	-583.71	-281.914
5-10	186.7427	215.6359	1378.582	1609.414	930.7773	360.7335	-232.877	-513.431	-559.767	-422.159	231.6199
10-15	937.5181	1077.234	2592.787	2803.869	1619.268	673.2361	-207.946	-540.061	-460.985	-75.0128	996.5493
15-20	1673.389	1934.36	3778.934	3922.871	2166.706	777.5744	-218.738	-583.271	-498.405	212.6636	1746.949
20-25	2214.594	2508.792	4743.772	4788.017	2425.477	790.7072	-71.8123	-469.898	-533.251	288.3568	2303.175
25-30	2528.173	2511.937	5444.06	5370.839	2573.466	952.5991	267.7475	-173.925	-395.002	274.526	2631.703
30-35	2669.629	2106.365	5879.119	5737.411	2788.65	1224.258	665.3413	170.0498	-198.126	287.0421	2812.847
35-40	2721.002	1647.364	6142.023	6024.659	3044.578	1511.243	1026.526	467.5824	-37.0654	283.7648	2918.7
40-45	2655.388	1161.087	6282.603	6243.81	3256.469	1728.769	1266.521	633.8909	3.397781	179.9118	2897.636
45-50	2401.981	582.1024	6254.798	6324.057	3353.516	1806.031	1314.517	598.1689	-147.543	-95.3232	2678.849
50-55	1908.75	-141.622	6006.577	6213.369	3283.688	1690.999	1118.485	308.3851	-541.919	-593.972	2210.308
55-60	1148.132	-1037.65	5510.377	5884.185	3019.423	1356.108	650.8624	-263.023	-1207.29	-1343.6	1464.451
60-65	121.678	-2104.43	4767.75	5338.053	2562.27	802.911	-86.801	-1114.5	-2142.11	-2342.64	442.8266
65-70	-1130.32	-3301.66	3818.985	4615.266	1952.521	71.6975	-1054.21	-2205.77	-3306.09	-3550.83	-814.272
70-75	-2534.32	-4555.81	2737.631	3789.372	1263.725	-763.984	-2177.83	-3463.27	-4625.68	-4894.6	-2233.3
75-80	-3942.06	-5718.63	1671.937	3008.619	644.1289	-1555.89	-3309.4	-4738.75	-5952.62	-6225.7	-3666
80-85	-5215.91	-6732.43	649.3916	2415.752	236.4788	-2161.26	-4306.17	-5889.48	-7144.18	-7401.4	-4969.64
85-90	-6271.21	-7560.31	-356.82	1981.754	233.7153	-2387.17	-4975.21	-6722.5	-8007.42	-8228.76	-6049.12
90-95	-6932.42	-7974.54	-1174.01	1645.891	603.2872	-1904.3	-4987.21	-6908.52	-8213.02	-8519.84	-6731.19
95-100	-7018.69	-7815.71	-1699.74	1387.115	990.6681	-967.571	-4140.46	-6238.44	-7701.29	-8241.54	-6843.51
100-105	-6472.61	-7049.81	-1962.56	1058.234	1142.63	-240.827	-2934.97	-5067.52	-6703.7	-7367.69	-6328.7
105-110	-5417.51	-5805.14	-2114.04	374.3637	708.8901	-144.853	-2168.65	-3993.89	-5441.03	-6017.21	-5313.45
110-115	-3612.65	-3816.48	-1847.03	-427.171	-150.168	-557.901	-1668.19	-2742.12	-3593.56	-3921.24	-3557.72
115-119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



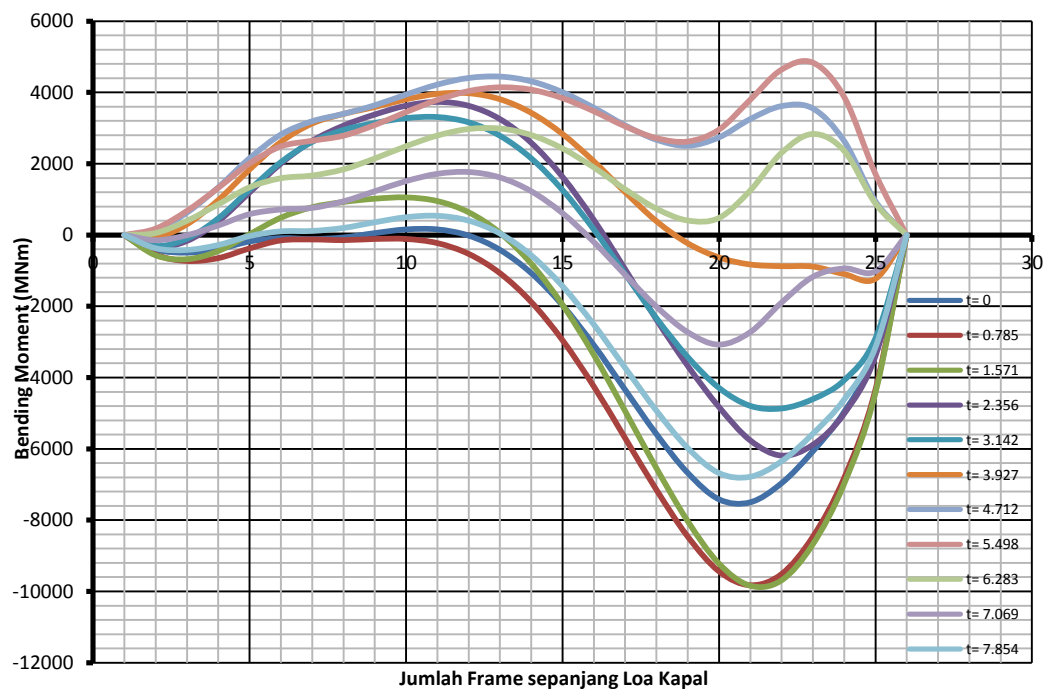
### Shear Force Frekuensi 0,8 rad/s

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5-0	20.0678	22.31217	24.62939	24.68025	24.22774	20.74695	15.73431	13.69204	14.15162	16.54876	19.80214
0-5	33.30408	39.1666	45.36569	46.1307	44.8149	36.51895	24.85473	19.7555	20.17928	25.28053	32.76884
5-10	48.30888	58.67473	67.59898	68.08422	65.46011	52.61803	34.97544	26.06652	26.35441	34.73927	47.50079
10-15	59.65574	75.30627	87.38385	87.49956	82.99527	64.77293	40.25607	27.0257	27.25927	39.57505	58.56279
15-20	58.09821	79.42556	94.80827	94.36644	87.51258	63.34523	31.45248	13.75476	14.15924	30.90822	56.71699
20-25	68.77144	82.93202	101.6579	100.4448	90.87424	60.36739	21.75673	0.845917	15.88388	43.27321	67.1148
25-30	88.4809	102.5087	111.8407	103.7893	91.08659	55.36622	21.34408	13.9596	30.10154	59.96613	86.5625
30-35	107.2848	122.6626	132.1625	121.6204	104.4559	71.40591	34.53737	26.16771	43.41364	75.75348	105.1046
35-40	123.9705	140.6983	150.3661	138.396	120.6214	85.32741	45.61248	36.25763	54.60755	89.42264	121.5286
40-45	138.963	157.0408	166.8765	153.4784	135.0938	97.55575	54.99443	44.6544	64.10829	101.3986	136.2593
45-50	150.9731	170.4009	180.4045	165.5784	146.5838	106.8017	61.39394	50.06873	70.6266	110.3922	148.0077
50-55	160.3016	181.0794	191.2509	174.9967	155.3921	113.3659	65.11184	52.80144	74.4633	116.7042	157.0744
55-60	166.1857	188.3136	198.653	180.9707	160.7561	116.4859	65.38539	52.0898	74.85565	119.5718	162.6968
60-65	167.5487	191.0266	201.5339	182.4236	161.599	115.0847	61.13782	46.85705	70.72687	117.9182	163.7981
65-70	163.9641	188.7919	199.4671	178.9288	157.4941	108.7358	51.94256	36.6766	61.65041	111.317	159.9516
70-75	157.6288	183.8066	194.6498	172.6835	150.6387	99.63637	39.99671	23.74557	49.82336	101.9652	153.3546
75-80	139.1504	166.6783	177.6893	154.295	131.6402	78.39381	15.90776	-1.32856	25.85321	80.47035	134.6145
80-85	127.6224	156.5002	167.6792	142.8568	119.592	64.10153	-1.23092	-19.4524	8.833334	65.92573	122.8247
85-90	100.7378	130.9656	144.0315	135.1794	105.8465	53.14458	-31.1664	-52.9328	-23.5431	36.0246	95.6783
90-95	72.36214	109.6536	120.5364	124.9632	90.57275	50.35122	-22.4077	-64.7677	-55.5805	3.148061	73.20119
95-100	65.77878	89.81894	94.6608	99.28889	80.71523	48.63866	-9.52194	-43.4629	-35.6879	8.831483	66.47749
100-105	67.81566	78.179	78.81439	82.96564	80.82685	56.92089	16.03534	-7.5167	-2.22603	29.05943	68.38334
105-110	74.98529	76.65247	76.31666	79.17272	79.84133	71.48351	50.33582	37.64491	39.95615	56.88177	75.42706
110-115	57.41265	56.17489	56.00699	57.43502	58.04505	59.65033	60.76557	60.82038	60.00916	58.93063	57.67209
115-119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

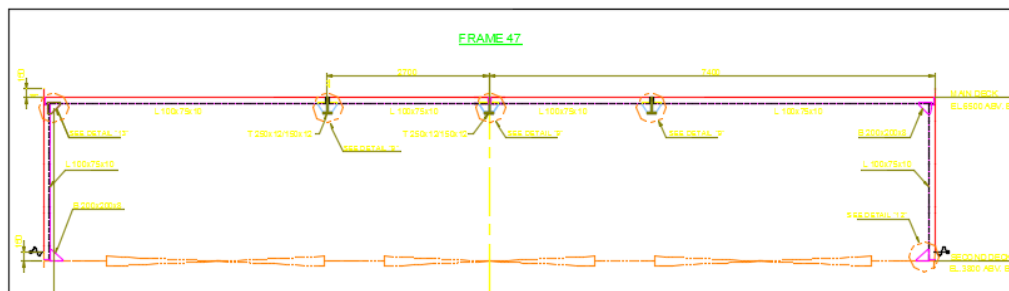


## Bending Moment Frekuensi 0,8 rad/s

-5-0	-407.325	-547.459	-568.177	-341.688	-308.125	-76.7831	133.9065	182.293	55.80572	-148.802	-367.996
0-5	-493.947	-725.409	-677.067	-168.859	-103.476	300.6712	630.5824	679.3163	399.0082	-7.70698	-415.47
5-10	-394.797	-645.359	-449.189	380.775	464.1864	978.23	1339.186	1323.788	858.8896	264.8981	-277.421
10-15	-181.804	-373.254	22.00875	1190.247	1267.457	1835.198	2156.114	2009.821	1336.175	582.65	-25.9225
15-20	-87.7642	-148.786	487.5517	2001.025	2041.479	2606.265	2820.579	2486.791	1590.682	712.0915	106.1494
20-25	-113.77	-122.351	781.3251	2637.392	2610.768	3125.972	3193.341	2646.269	1668.059	756.6677	117.9415
25-30	-68.4348	-140.689	928.6886	3066.041	2946.337	3394.1	3401.751	2787.517	1839.35	941.3537	201.1847
30-35	53.1724	-108.751	1020.224	3378.866	3140.842	3588.528	3641.298	3086.687	2144.331	1223.621	360.948
35-40	156.6092	-108.167	1056.914	3626.653	3277.955	3804.429	3942.92	3449.338	2488.559	1509.027	502.7889
40-45	157.0931	-223.719	953.9763	3732.271	3308.279	3957.021	4221.833	3790.686	2787.253	1712.79	541.9249
45-50	-16.1822	-526.215	640.604	3624.915	3161.006	3975.499	4407.232	4039.926	2969.606	1764.102	407.5498
50-55	-415.248	-1067.69	64.76599	3252.552	2784.105	3807.83	4447.085	4145.026	2983.586	1610.933	47.6322
55-60	-1067.67	-1875.69	-801.1	2587.621	2150.015	3426.452	4313.829	4078.423	2801.632	1225.721	-565.39
60-65	-1971.89	-2948.69	-1955.44	1631.671	1260.285	2832.916	4009.016	3841.669	2425.293	610.0155	-1429.97
65-70	-3087.62	-4246.37	-3357.97	424.9944	155.207	2067.513	3572.936	3475.054	1894.861	-195.892	-2505.81
70-75	-4341.32	-5695.21	-4935.14	-958.862	-1091.67	1203.79	3079.137	3052.126	1283.884	-1118.45	-3719.36
75-80	-5584.73	-7146.94	-6538.7	-2371.65	-2332.1	389.997	2675.869	2721.135	740.6105	-2009.42	-4922.38
80-85	-6675.11	-8458.83	-8025.9	-3670.62	-3423.34	-231.122	2505.875	2624.824	407.7853	-2726.05	-5972.13
85-90	-7419.51	-9437.93	-9218.66	-4828.01	-4290.46	-628.122	2739.982	2956.135	478.3496	-3075.4	-6675.65
90-95	-7503.61	-9827.5	-9841.48	-5766.67	-4795.77	-826.226	3254.293	3796.197	1248.201	-2728.15	-6780.71
95-100	-6968.21	-9516.6	-9690.28	-6193.34	-4869.57	-874.355	3618.072	4640.292	2302.974	-1896.94	-6347.26
100-105	-6072.9	-8470.41	-8679.37	-5891.09	-4608.01	-885.103	3552.848	4837.807	2831.034	-1175.16	-5574.84
105-110	-4968.73	-6820.27	-6982.6	-5019.65	-4079.86	-1093.78	2641.11	3876.22	2360.009	-939.72	-4615.43
110-115	-3337.71	-4346.59	-4433.8	-3400.91	-2904.69	-1229.58	951.6623	1720.132	886.7015	-1024.53	-3150.99
115-119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0







Gambar penampang melintang bagian deck Frame 47

Deck plate, center girder (web dan flange), side girder

----- REGIONS -----					
Area:	208966.0			mm <sup>2</sup>	
Perimeter:	51198.9				
Bounding box:	X: -7405.4 -- 7409.5				
	Y: -1988.1 -- 720.0				
Centroid:	X: 0.0				
	Y: 0.0				
Moments of inertia:	X: 237932517663.4			mm <sup>4</sup>	
	Y: 5482375688545.0			mm <sup>4</sup>	
Product of inertia:	XY: -789714864.5				
Radii of gyration:	X: 1067.1				
	Y: 5122.1				
Principal moments and X-Y directions about centroid:					
	I: 237932398320.2 along [1.0 0.0]				
	J: 5482375807222.4 along [0.0 1.0]				



$\Sigma_1$	5104.36	$\text{cm}^2$	Total Area
$\Sigma_2$	1476301.49	$\text{cm}^3$	Total Moment
$\Sigma_3$	766504436.34	$\text{cm}^4$	Total Moment x COG
$\Sigma_4$	893551527.09	$\text{cm}^4$	Total Inertia
COG Bottom =	74.500	cm	Jarak dari COG bottom ke keel
COG Deck =	599.00	cm	Jarak dari COG deck ke keel
$I_{xx} = \Sigma_3 + \Sigma_4 =$	766504436.335 + 893551527.09		
=	1660055963.43	$\text{cm}^4$	
$I_{NA} = I_{xx} - (Z_1)^2 \cdot \Sigma_1 =$	1660055963.426 - [(74.50^2) x 5104.360]		
=	1631725489	$\text{cm}^4$	
=	16.31725489	$\text{m}^4$	
Bottom Section Modulus	$I_{NA} / Z_1$		
=	1631725489.336 / 74.50		
=	21902355.562	$\text{cm}^3$	
=	21.90235556	$\text{m}^3$	
Deck Section Modulus	$I_{NA} / Z_2$		
=	1631725489.336 / 599.00		
=	2724082.62	$\text{cm}^3$	
=	2.72408262	$\text{m}^3$	

## BIODATA PENULIS



Febry Nur Intan lahir di Jakarta pada 23 Februari 1995. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar di SDS Krishna Jakarta, di lanjutkan tingkat menengah pertama di SMPN 7 Jakarta dan tingkat menengah atas di SMAN 77 Jakarta. Setelah lulus SMA pada tahun 2013 penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Selama menempuh masa studi selain aktif dibidang akademis, penulis juga aktif di berbagai kegiatan intra kampus. Kegiatan intra kampus yang penulis pernah ikuti adalah menjadi Staff Himpunan Teknik Kelautan Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa 2015/2016. Penulis juga aktif di berbagai kepanitian seperti MARTEC 2014, Social Development SPE SC ITS 2015, dan menjadi bendahara OCEANO 5 pada tahun 2016/2017. Penulis memiliki pengalaman melakukan kerja praktek di PT. Siemens, Batam. Penulis mengakhiri masa kuliah dengan menulis tugas akhir dengan judul “Analisa Kekuatan Memanjang Akibat Beban Gelombang dan *Slamming* pada Kapal Survei Seismik Geomarin IV”. Kritik dan saran untuk kelancaran penelitian ini dapat disampaikan melalui email penulis yaitu [febrynurintan@gmail.com](mailto:febrynurintan@gmail.com)